

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektrotechniky

**NÁVRH OSVĚTLENÍ HOKEJOVÉ HALY**  
**ILLUMINATION DESIGN OF THE HOCKEY HALL**



*„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární  
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

V Pardubicích dne 29.04.2019

Bc. Lukáš Hála



### **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Mlčákovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

V Pardubicích dne 24.04.2019

Bc. Lukáš Hála

## **ABSTRAKT**

*Cílem diplomové práce je vypracovat kompletní projekt návrhu osvětlení a elektroinstalace stávající hokejové haly. Kompletní projektová dokumentace bude, krom základních náležitostí, obsahovat světelně technický návrh, návrh řízení osvětlovací soustavy stadionu, návrh měření a regulace, obvodová elektrotechnická schémata instalace, výkresy uspořádání prvků v rozváděčích. Závěr práce je zaměřen na energetické a ekonomické zhodnocení projektu.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

DALI, řízení osvětlovací soustavy, návrh osvětlovací soustavy, Domat

## **TITLE**

*ILLUMINATION DESIGN OF THE HOCKEY HALL*

## **ABSTRACT**

*The aim of this thesis is to elaborate a complete design of lighting and wiring for the existing hockey hall. The complete project documentation will include, in addition to the basic requirements, a lighting technical design, a lighting control system design of the stadium, a design of measurement and regulation, circuit electrical schematics of installation, drawings of the arrangement of elements in switchboards. The conclusion is focused on the energy and economic evaluation of the project.*

## **KEYWORDS**

DALI, lighting system control, lighting system design, Domat

# OBSAH

Seznam zkratk a značek.....	11
Seznam symbolů proměnných veličin a funkcí.....	12
Seznam ilustrací .....	13
Seznam tabulek .....	14
Úvod.....	15
1 Normativní požadavky na osvětlení.....	16
1.1 ČSN EN 12193 (2019) Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť .....	16
1.1.1 Síť kontrolních bodů pro výpočet a měření osvětlení.....	16
1.2 Údržba.....	17
1.3 Světelně technické parametry světelných zdrojů .....	19
1.3.1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem.....	19
1.3.2 Mechanická odolnost svítidel .....	20
1.3.3 Ochrana proti vniknutím prachu, pevných cizích těles a vody .....	20
1.3.4 Svítivost .....	21
1.3.5 Osvětlenost.....	23
1.3.6 Světelný tok .....	23
1.3.7 Index podání barev.....	24
1.3.8 Prostorový úhel .....	24
1.3.9 Měrný výkon.....	25
1.3.10 Teplota chromatičnosti.....	25
1.3.11 Oslnění .....	26
1.3.12 Životnost světelných zdrojů.....	26
1.4 Světelné zdroje a jejich typy .....	27
1.4.1 Obyčejná žárovka.....	27
1.4.2 Halogenové žárovky .....	28
1.4.3 Lineární Zářivka.....	29
1.4.4 Kompaktní zářivky.....	30
1.4.5 Nízkotlaké sodíkové výbojky.....	30
1.4.6 Indukční výbojky .....	32
1.4.7 Vysokotlaké rtuťové výbojky .....	33
1.4.8 Halogenidové výbojky .....	33
1.4.9 Vysokotlaké sodíkové výbojky.....	34
1.4.10 Elektro-luminiscenční světelné zdroje.....	36
1.5 Řízení a regulace osvětlení.....	39
1.5.1 Analogové řízení.....	40
1.5.2 Digitální řízení .....	40
1.5.3 Digitální řízení pomocí rozhraní DSI.....	40
1.5.4 Digitální řízení pomocí rozhraní DALI .....	40
2 Stávající stav osvětlení.....	44
2.1 Popis objektu.....	44
2.2 Provozní režim .....	45
2.3 Měření stávající intenzity osvětlení .....	45
3 Světelně technický návrh .....	48
3.1 Požadavky na osvětlovací soustavu .....	48

3.2 Návrh osvětlovací soustavy .....	48
3.3 Výpočet osvětlení.....	49
4 Projektová dokumentace .....	52
4.1 Řízení osvětlovací soustavy .....	52
4.1.1 Komponenty řízení osvětlovací soustavy .....	53
4.2 Vizualizace řízení osvětlovací soustavy.....	55
4.3 Topologie napájení.....	57
4.4 Schéma zapojení rozvaděče .....	58
4.5 Měření spotřeby elektrické energie.....	58
5 Energetické a ekonomické zhodnocení projektu.....	59
5.1 Energetická a ekonomická bilance stávající osvětlovací soustavy .....	59
5.2 Energetická a ekonomická bilance nově navržené osvětlovací soustavy.....	60
5.3 Srovnání současné a nově navržené soustavy .....	60
6 Závěr .....	63
POUŽITÁ LITERATURA.....	64
Přílohy .....	73

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

DALI	Digital Addressable Lighting Interface (digitální adresovatelné světelné rozhraní)
DSI	Digital Serial Interface (digitální sériové rozhraní)
LLMF	lumen lamp maintenance factor (činitel stárnutí světelného zdroje)
LMF	lamp maintenance factor (udržovací činitel svítidla)
LSF	luminare survival factor (činitel funkční spolehlivosti světelného zdroje)
RSMF	room surface maintenance (udržovací činitel povrchů)
MF	maintenance factor (udržovací činitel)
I/O	Input / Output (vstupně / výstupní)
IK	Protection against mechanical impacts (odolnost proti mechanickým nárazům)
IP	International Protection (krytí)
PLC	Programable Logic Controller (programovatelná logická jednotka)
SELV	Separated Extra Low Voltage (oddělené malé napětí)
SI	Le Système International d'Unités (Mezinárodní systém jednotek)
UGR	Unified Glare Rating (oslnění – vnitřní prostory)
GR	Glare Rating (oslnění – venkovní prostory)
LED	Light-Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda)
IEC	International Electrotechnical Commission (Mezinárodní elektrotechnická komise)
CRI	Color rendering index (index podání barev)
DDC	Direct Digital Control (přímé číslicové řízení)
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)
FUPLA	function block diagram (funkční bloky)
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
DSI	Digital Serial Interface (digitální sériové rozhraní)
UV	Ultraviolet (ultrafialové záření)
IDE	Integrated Development Enviroment (vývojové prostředí)
HMI	Human Machine Interface (rozhraní člověk-stroj)
ST	Structured Text (strukturovaný text)
TCP	Transmission Control Protocol (primární přenosový protokol)
SQL	Structured Query Lnguage (standardizovaný strukturovaný dotazovací jazyk)



## SEZNAM SYMBOLŮ PROMĚNNÝCH VELIČIN A FUNKCÍ

$I$	elektrický proud, A
$R$	elektrický odpor, $\Omega$
$U$	elektrické napětí, V
$E$	osvětlenost (intenzita osvětlení), lx
$E_{min}$	minimální osvětlenost, lx
$\bar{E}_m$	průměrná udržovaná osvětlenost, lx
$\bar{E}_0$	průměrná osvětlenost osvětlovací soustavy v novém stavu, lx
$MF$	udržovací činitel, -
$LLMF$	činitel stárnutí světelného zdroje, -
$LSF$	činitel funkční spolehlivosti svítidla, -
$LMF$	udržovací činitel svítidla, -
$RSMF$	udržovací činitel povrchů, -
$I_{\gamma\xi}$	svítivost, cd
$\phi$	světelný tok, lm
$K_F$	činitel tvaru křivky, -
$I_{max}$	maximální svítivost, cd
$I_{stř}$	střední svítivost, cd
$dA$	osvětlenost plošky v bodě, $m^2$
$d\phi_d$	plošná hustota světelného toku, lm
$K_m$	spektrální průběh, -
$K(\lambda)$	světelný účinek monochromatického záření, $lm \cdot W^{-1}$
$V(\lambda)$	poměrná světelná účinnost monochromatického záření, -
$R_a$	index podání barev, -
$\Omega$	prostorový úhel, sr
$A$	plocha, $m^2$
$r$	poloměr, m
$l$	vzdálenost, m
$\eta$	měrný výkon, $lm \cdot W^{-1}$
$P$	příkon, W
$p$	rozměr sítě, -
$d$	větší rozměr srovnávací plochy, m
$U2_{hor}$	rovnoměrnost osvětlení, -
$P_C$	celkový příkon osvětlovací soustavy, W
$n$	počet svítidel, -
$E_C$	množství spotřebované elektrické energie, kWh / rok
$t$	doba provozu osvětlovací soustavy za rok, h
$A_e$	cena energie, Kč/rok
$TN_p$	návratnost investice, let
$IN$	náklady na investici, Kč
$CF$	roční peněžní tok, Kč

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 - Porovnání poklesu relativní osvětlenosti u udržované a neudržované osvětlovací soustavy a průběhy činitelů vratných a nevratných ztrát (Habel, 2013) .....	17
Obr. 1.2 - Křivky svítivosti ve fotometrických systémech A- $\alpha$ , B- $\beta$ , C- $\gamma$ (Sokánský, 2007) .....	22
Obr. 1.3 - Rozdělení svítidel dle rozložení jejich světelného toku (Sokánský, 2007) .....	23
Obr. 1.4 - Určení osvětlenosti bodovým zdrojem (Habel, 2013) .....	23
Obr. 1.5 - Určení prostorového úhlu (Habel, 2013) .....	24
Obr. 1.6 - Stupnice teplot chromatičnosti (Habel, 2013) .....	25
Obr. 1.7 - Struktura třídění světelných zdrojů (Habel, 2013) .....	27
Obr. 1.8 - Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par (Habel, 2013) .....	31
Obr. 1.9 - Halogenidová výbojka OSRAM POWERSTAR HQI-T 400W/N E40 (Habel, 2013) .....	34
Obr. 1.10 - Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par (Habel, 2013) .....	35
Obr. 1.11 - Principiální schéma vysokotlaké sodíkové výbojky (Habel, 2013) .....	35
Obr. 1.12 - Schéma zapojení vysokotlaké sodíkové a halogenidové výbojky (Habel, 2013) .....	36
Obr. 1.13 - Historický vývoj měrného výkonu světelných zdrojů (Habel, 2013) .....	37
Obr. 1.14 - Konstrukce světelné diody se dvěma krystaly (Habel, 2013) .....	37
Obr. 1.15 - Emisní spektrum bílé LED diody (třípásmový luminofor buzený UV zářením diody) (Habel, 2013) .....	38
Obr. 1.16 - Řízení osvětlení s předřadníky DALI (Kunc, 2007) .....	41
Obr. 1.17 - Jmenovité hodnoty napětí DALI sběrnice (Vidim, 2017) .....	43
Obr. 2.1 - Stávající osvětlení hokejového stadionu (Foto autor) .....	44
Obr. 2.2 - Digitální luxmetr Testo 545 (Luxmetr Testo 545, 2019) .....	45
Obr. 2.3 - Měření hodnoty osvětlení stávajících svítidel v režimu 1 (vlastník autor) .....	46
Obr. 2.4 - Měření hodnoty osvětlení stávajících svítidel v režimu 2 (vlastní autor) .....	47
Obr. 3.1 - LED svítidlo TOLEDA 3G s křivkou svítivosti (Toleda 3G, 2018) .....	49
Obr. 3.2 - Rozmístění svítidel nad plochou kluziště (.....)	50
Obr. 3.3 - 3D vizualizace kluziště s rozmístěním svítidel (vlastník autor) .....	50
Obr. 3.4 - Znázornění osvětlení kluziště v nepravých barvách (vlastní autor) .....	51
Obr. 4.1 - Rozdělení osvětlovací soustavy do dvou částí (vlastní autor) .....	52
Obr. 4.2 - Nastavení scén jednotlivým předřadníkům ( <i>Převodník Modbus TCP/DALI</i> , 2018) .....	53
Obr. 4.3 - DDC regulátor MARK 320 firmy Domat ( <i>DDC regulátory mark320, mark220</i> , 2017) .....	54
Obr. 4.4 - Převodník R091 TCP / DALI ( <i>Převodník Modbus TCP/DALI</i> , 2018) .....	54
Obr. 4.5 – Vizualizace nastavení osvětlení (vlastní autor) .....	55
Obr. 4.6 - Vizualizace spotřeb elektrické energie (vlastní autor) .....	56
Obr. 4.7 - Vizualizace stavu svítidel (vlastní autor) .....	56
Obr. 4.8 - Principiální schéma napájení osvětlovací soustavy (vlastní autor) .....	57
Obr. 4.9 - Elektroměr PRO380-MOD (ELEKTROMĚR PRO380-MOD 0,25-100A MODBUS MID) .....	58

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1- Třídy osvětlení u různých úrovní soutěže - Lední hokej (ČSN EN 12193, 2019).....	16
Tabulka 1.2 - Dělení svítidel dle třídy ochrany před úrazem elektrickým proudem (Habel, 2013).....	20
Tabulka 1.3 - Stupeň krytí IK s odpovídající mechanickou odolností (Habel, 2013).....	20
Tabulka 1.4 - Význam číslíc pro krytí svítidel - kód IP (Sokánský, 2007).....	21
Tabulka 1.5 - Rozdělení svítidel dle tvaru křivky svítivosti (Sokánský, 2007) .....	22
Tabulka 1.6 - Rozdělení svítidel dle rozložení jejich světelného toku (Sokánský, 2007).....	22
Tabulka 1.7 - Porovnání světelně technických parametrů obyčejných žárovek (Habel, 2013) .....	28
Tabulka 2.1 - Hodnoty osvětlenosti určené ČSN EN 12193 (ČSN EN 12193, 2019).....	45
Tabulka 3.1 - Základní parametry nově navržené osvětlovací soustavy.....	50
Tabulka 5.1 - Srovnání ekonomické a energetické bilance stávající a navržené osvětlovací soustavy (vlastní) .....	61
Tabulka 5.2 - Výpis materiálu pro výměnu stávajícího osvětlení (vlastní).....	61

# ÚVOD

Cílem diplomové práce je vypracování kompletního projektu návrhu osvětlení a elektroinstalace stávající hokejové haly. Projekt bude obsahovat světelně technický návrh, návrh řízení osvětlovací soustavy, návrh měření a regulace, obvodová schémata zapojení instalace a výkresy uspořádání prvků v rozvaděčích. Dílčím cílem projektu je výměna stávajícího nevyhovujícího osvětlení za nové, plně regulovatelné.

Diplomová práce bude rozdělena do pěti kapitol. V první teoretické kapitole se budu věnovat normativním požadavkům na osvětlení, typům osvětlovacích zdrojů a typům řízení osvětlovacích soustav. Další kapitoly budou již praktické.

V druhé kapitole budu analyzovat současný stav osvětlení, tzn. měřit intenzitu osvětlení, zjistím stávající způsob osvětlení a ověřím elektroinstalaci v hokejové hale.

Ve třetí kapitole se budu věnovat světelně technickému návrhu, navrhnu osvětlovací soustavu s vybraným svítidlem.

Ve čtvrté kapitole vypracuji kompletní projektovou dokumentaci, navrhnu řídicí systém s vizualizací ovládacího a informačního panelu, který bude přístupný na webovském portálu.

V poslední kapitole zpracuji zhodnocení projektu z hlediska energetického a ekonomického.

# 1 NORMATIVNÍ POŽADAVKY NA OSVĚTLENÍ

## 1.1 ČSN EN 12193 (2019) SVĚTLO A OSVĚTLENÍ – OSVĚTLENÍ SPORTOVIŠŤ

V březnu roku 2019 byla vydána norma ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť, která nahrazuje od 1.4.2019 stejnojmennou normu, vydanou 08.2008. Tato norma určuje, jakým způsobem lze řešit osvětlení sportovišť, ať už krytých či otevřených, pro sporty, které jsou v Evropě nejčastější. Norma dále stanovuje minimální hodnoty osvětlenosti pro správný návrh a kontrolu světelných instalací na sportovištích. Dalšími důležitými údaji pro návrh osvětlovací soustavy jsou: osvětlenost, rovnoměrnost osvětlení, omezení oslnění a barevné vlastnosti světelných zdrojů (ČSN EN 12193, 2019).

Při volbě třídy osvětlení jsou vodítkem níže uvedené vysvětlivky a tabulka 1.1:

Třída osvětlení I.: Soutěže nejvyšší úrovně, jako jsou mezinárodní a národní soutěže, které jsou z pravidla spojeny s velkými počty diváků a možnými velkými pozorovacími vzdálenostmi. Do této třídy může být zařazen i trénink s nejvyšší úrovní.

Třída osvětlení II.: Soutěže se střední úrovní, jako jsou regionální nebo místní klubové soutěže, které jsou z pravidla spojeny se středními počty diváků a středními pozorovacími vzdálenostmi. Do této třídy může být zařazen trénink s vysokou úrovní.

Třída osvětlení III.: Soutěže s nízkou úrovní, jako jsou soutěže místní nebo malých klubů, které z pravidla nemají diváky. Do této kategorie může být zařazen běžný trénink, tělesná výchova (školní sporty) a pohybové rekreace (ČSN EN 12193, 2019).

Tabulka 1.1- Třídy osvětlení u různých úrovní soutěže - Lední hokej (ČSN EN 12193, 2019)

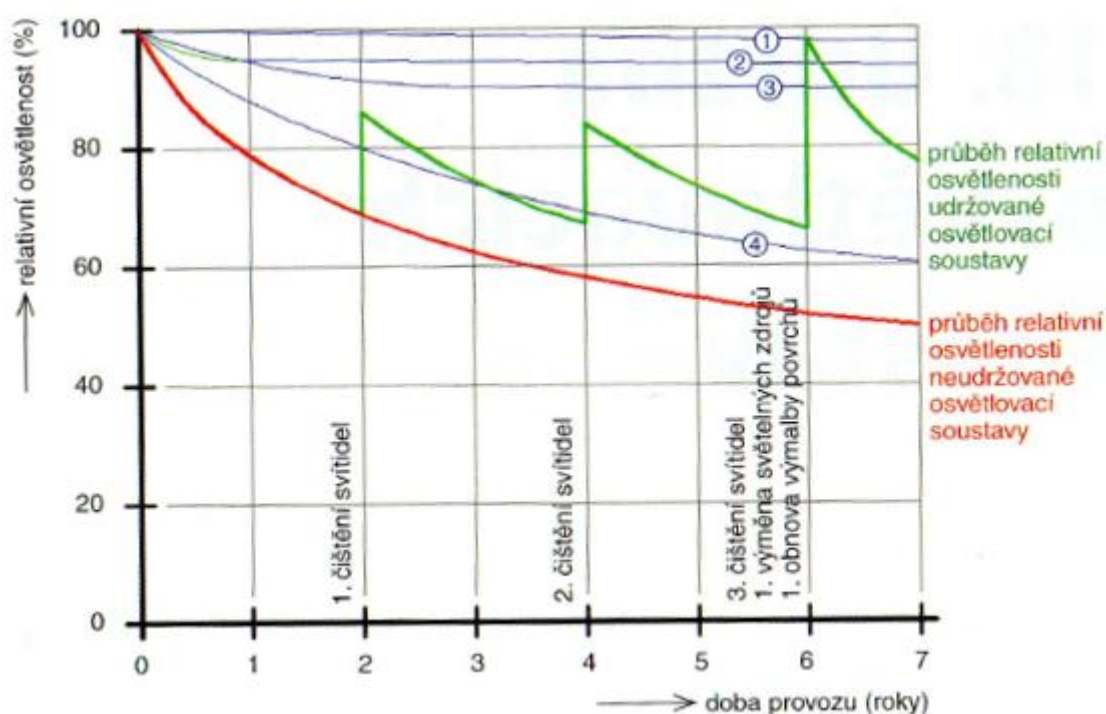
Úroveň soutěže	Třída osvětlení		
	I	II	III
Mezinárodní a národní	*		
Regionální	*	*	
Místní	*	*	*
Trénink		*	*
Rekreační/Školní sporty (Tělesná výchova)			*

### 1.1.1 SÍŤ KONTROLNÍCH BODŮ PRO VÝPOČET A MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ

Pro ověření úrovně osvětlení, kterou poskytuje osvětlovací soustava, je vyžadováno, aby bylo provedeno měření osvětlení na daném místě. Proto je vhodné definovat určitou síť bodů pro měření, kde se určí, ve kterých bodech se bude uskutečňovat měření a výpočty osvětlení. Tato síť je pravoúhlá a osvětlenosti se měří, nebo vypočítávají v každém středu pravoúhelníku této sítě. Pokud se jedná o symetrickou síť, může být měřicích bodů méně než výpočetních (měřicí bod je ob jeden výpočetní). Hranice sítě je vymezená čtyřmi rohovými body, společnými pro měření a výpočet. Srovnávací úrovní sítě je povrch pro vyhodnocení vodorovné osvětlenosti nebo 1,5 m nad ním pro vyhodnocení svislé osvětlenosti, pokud není stanoveno jinak. Délka a šířka srovnávací plochy určuje body sítě (ČSN EN 12193, 2019).

## 1.2 ÚDRŽBA

S postupem času dochází k degradaci (znečištění) osvětlovacích soustav, čímž se zhorší propustnost difuzoru i odrazní schopnosti reflektoru. To má za důsledek pokles účinnosti svítidla a snížení žádané osvětlenosti. Na obr. 1.1, je zobrazen průběh osvětlenosti v závislosti na časových intervalech, kdy a jak je světelný zdroj udržován (Maixner, 2007).



Obr. 1.1 - Porovnání poklesu relativní osvětlenosti u udržované a neudržované osvětlovací soustavy a průběhy činitelů vratných a nevratných ztrát (Habel, 2013)

Modrými čarami je naznačeno snížení světelného toku osvětlovací soustavy

- 1 – vlivem nevratných ztrát,
- 2 – vlivem znečištění povrchů osvětlovaného prostoru,
- 3 – vlivem stárnutí světelných zdrojů,
- 4 – vlivem znečištění a stárnutí optických částí svítidel.

Příčinami postupné degradace osvětlovacích soustav jsou:

- hromadění prachu a nečistot na světelných zdrojích a svítidlech,
- výpadku světelných zdrojů,
- znehodnocování povrchů vnitřních prostorů, svítidel a světelných zdrojů.

Kvůli těmto příčinám je potřeba plánovat pravidelnou údržbu, čímž se zachovávají původní navrhované parametry osvětlovací soustavy. Intervalů čištění a výměny světelných zdrojů by měli být součástí návrhu osvětlení. Po vyčištění svítidla se jeho optické vlastnosti vrátí téměř do původního stavu. Pořízením svítidel s vyšším krytím proti možnosti vniknutí prachu, snižuje délku a náročnost údržby, protože není potřeba odmontovat kryt svítidla. Znečištění výmalby stěn, stropu, podílejších se na odrazu světla, se také podílí na zhoršení osvětlenosti prostoru. Proto je potřeba, v rámci pravidelné údržby výmalbu obnovovat, čímž se odrazové vlastnosti prostoru zlepší. Návrh osvětlovací

soustavy musí vyhovovat požadované osvětlenosti i v okamžiku, kdy je velikost činitele údržby nejmenší (Maixner, 2007).

Udržovací činitel –  $MF$  – je definován jako podíl průměrné udržované osvětlenosti  $\bar{E}_m$  a průměrné osvětlenosti osvětlovací soustavy v novém stavu  $\bar{E}_0$  (TNI 36 0451, 2006).

$$MF = \frac{\bar{E}_m}{\bar{E}_0} (-; lx, lx). \quad (1.1)$$

Udržovací činitel se stanoví ze vztahu (1.2)

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF (-; -, -, -) \quad (1.2)$$

Převrácená hodnota udržovacího činitele  $MF$  určuje, kolikrát je potřeba soustavu naddimenzovat, aby její osvětlenost neklesla pod žádanou hodnotu udržované osvětlenosti (Habel, 2013).

$$\bar{E}_0 = \frac{\bar{E}_m}{MF} (lx; lx, -). \quad (1.3)$$

Činitel stárnutí světelného zdroje –  $LLMF$  – je stanoven jako podíl světelného toku vyzářeného světelným zdrojem po období provozu a světelného toku na začátku provozování. Světelný tok klesá s počtem nasvícených hodin u všech typů zdrojů (TNI 36 0451, 2006).

Udržovací činitel svítidla –  $LMF$  – popisuje pokles světelného toku svítidla v závislosti na usazeném prachu a nečistotách za dané období na optikách svítidel a světelných zdrojích (TNI 36 0451, 2006).

Činitel funkční spolehlivosti světelného zdroje –  $LSF$  – sděluje, jak velká část zkušebních vzorků světelného zdroje bude po dané době provozu stále funkční. Doba života světelných zdrojů je doba, kdy je funkčních právě 50 % zdrojů ze zkušebních vzorků (TNI 36 0451, 2006).

Udržovací činitel povrchů –  $RSMF$  – se stanoví jako poměr činitelů využití prostoru pro určitou osvětlovací soustavu po dané době provozu a pro novou osvětlovací soustavu. Udržovací činitel povrchů je závislý na velikosti místností, činitelích odrazu všech povrchů a na rozkladu světelného toku svítidel (TNI 36 0451, 2006).

## 1.3 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Každý světelný zdroj má určitou kvalitu, která je hodnocena řadou ukazatelů. Tyto ukazatele všestranně charakterizují vlastnosti světelného zdroje. Světelný zdroj musí splňovat určité parametry při předepsaných provozních podmínkách, tyto parametry se označují atributem jmenovité. Tyto, výrobci předepsané jmenovité, parametry slouží k popisu a označení světelného zdroje, ale mohou se lišit od reálných parametrů. Čím lepší je využitá technologie, konstrukce světelného zdroje, čím kvalitnější jsou využité materiály a modernější výrobní zařízení, tím lepší jsou parametry světelných zdrojů a menší odchylka od jmenovitých parametrů (Habel, 2013).

Parametry světelných zdrojů se dělí na:

- **Technické** (Habel, 2013):
  - konstrukční – hmotnost, typ patice, rozměry svítícího tělesa, konstrukce přívodu, vnější a připojovací rozměry,
  - světelně-technické – svítivost, světelný tok, teplota chromatičnosti a index podání barev,
  - elektrické – příkon světelného zdroje, napájecí napětí, druh a velikost proudu a napětí na zdroji,
  - život – celková doba svícení a další parametry jako:
    - užitečný život – doba funkce zdroje, během které zůstanou jeho parametry ve stanovených mezích,
    - fyzický život – celková doba svícení do okamžiku, kdy svítidlo přestane svítit (přerušení vlákna u žárovky),
    - průměrný život – časový úsek, kdy činitel funkční spolehlivosti klesne na 50 %,
    - činitel stárnutí [%] – podíl světelného toku zdroje v daném okamžiku života a světelného toku na počátku jeho života,
    - činitel funkční spolehlivosti – vyjadřuje část z celkového počtu zkoušených světelných zdrojů, která za určitých podmínek zůstává stále funkční.
- **Provozní** (Habel, 2013):
  - spolehlivost – LSF (Lamp Survival Factor) závisí na životnosti světelného zdroje. Časté spínání světelného zdroje snižuje jeho život čili i spolehlivost,
  - účinnost (měrný výkon) – udává efektivitu přeměny elektrické energie na světelnou, vyjadřuje se v lumenech na watt [ $\text{lm} / \text{W}$ ],
  - ekonomičnost – je třeba posuzovat komplexně a brát v potaz parametry jako: cena, spotřeba, život světelného zdroje, údržba apod.,
  - kompatibilita světelného zdroje s osvětlovací soustavou – lze vyrábět světelné zdroje s různým příkonem.



### 1.3.1 OCHRANA PŘED ÚRAZEM ELEKTRICKÝM PROUDEM

Každé svítidlo je nutné, dle ČSN EN 60 598-1 ed.6, zařadit do jedné z tříd 0, I, II, III podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím viz. tabulka 1.2. U svítidel s třídou ochrany 0 je ochrana před úrazem elektrickým proudem provedena základní izolací a svítidla s třídou ochrany 0 neobsahují svorku pro připojení přístupných vodivých neživých částí na ochranný vodič. Svítidla s třídou ochrany I, mají kromě základní izolace také svorku pro připojení vodivých neživých částí na ochranný vodič, čímž se tyto vodivé části při porušení izolace nemohou stát živými. Svítidla třídy ochrany II mají vedle základní izolace také doplňkovou dvojitou nebo zesílenou izolaci a nejsou



opatřeny svorkou pro připojení ochranného vodiče. Svítidla třídy ochrany III mají ochranu před úrazem elektrickým proudem zajištěnou napájením bezpečným malým napětím (SELV) a nesmí se na nich objevit vyšší napětí než bezpečné malé napětí (ČSN EN 60 598-1, 2015).

Tabulka 1.2 - Dělení svítidel dle třídy ochrany před úrazem elektrickým proudem (Habel, 2013)

Třída ochrany	Popis	Značka
0	základní izolace	x
I	základní izolace a svorka pro ochranný vodič	žádná
II	dvojitá nebo zesílená izolace	
III	bezpečné malé napětí (SELV)	

Dále se svítidla dělí dle požární bezpečnosti na svítidla, která jsou určena pro montáž na hořlavý materiál a svítidla pro montáž na nehořlavý materiál, která musí být příslušně označena (Sokánský, 2007).

### 1.3.2 MECHANICKÁ ODOLNOST SVÍTIDEL

Mechanickou odolností svítidel je vhodné řešit tam, kde může docházet k vnějším mechanickým nárazům do svítidel. Pro označení stupně ochrany svítidel proti vnějším mechanickým nárazům se používá kód IK (ČSN EN 62262, 1997). Označení se skládá z písmen IK a ze skupiny číslic (00 ÷ 10), které vyjadřují energii mechanického nárazu, které musí svítidlo odolat a musí být zachována jeho funkčnost a bezpečnost. Znamená to, že po nárazu může být svítidlo deformováno, ale nesmí být narušeno krytí IP, nesmí být rozbit světelný zdroj a nesmí vzniknout nebezpečí úrazu elektrickým proudem. V tabulce 1.3 jsou popsány různé stupně krytí IK s odpovídající energií nárazu. Jeli požadovaná vyšší mechanická odolnost nežli IK10, dalším stupněm je odolnost odpovídající hodnotě 50 J (Habel, 2013).

Tabulka 1.3 - Stupeň krytí IK s odpovídající mechanickou odolností (Habel, 2013)

Kód IK	IK00	IK01	IK02	IK03	IK04	IK05	IK06	IK07	IK08	IK09	IK10
Energie nárazu [J]	nechráněno	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	10	20

### 1.3.3 OCHRANA PROTI VNIKNUTÍM PRACHU, PEVNÝCH CIZÍCH TĚLES A VODY

Konstrukce svítidel musí být taková, aby jejich živé části nebyly přístupné. Pokud je svítidlo instalováno a připojeno pro normální používání, ani když je svítidlo otevřené za účelem výměny předřadníků nebo světelných zdrojů (Sokánský, 2007). Konstrukce svítidel musí chránit zařízení uvnitř krytu proti škodlivému vniku vody nebo prachu (Habel, 2013). Ochrana před úrazem elektrickým proudem musí být zachována při všech polohách svítidla a způsobech montáže (Sokánský, 2007).

Dalším velmi důležitým parametrem svítidel je jejich krytí. Pro krytí svítidel platí norma ČSN EN 60 529 (33 0330), dle ní se druh krytí svítidla označuje zkratkou IP (International Protection) a dvojčíslicím. První číslice dvojčíslí označuje ochranu proti vniknutí cizích předmětů, druhá číslice označuje ochranu před vniknutím vody. Nejnižší dovolené krytí svítidel na nízké napětí je IP 20. Použití pro venkovní prostředí vyžaduje krytí před deštěm minimálně IP 23. Proti stříkající vodě je běžné krytí svítidel IP 54. Svítidla s krytím IP 65 mají velmi dobrou ochranu proti vniknutí prachu, vody, a proto se využívají tam, kde je potřeba prodloužit životnost optického systému svítidla a snížit náklady na údržbu. Tabulka 1.4 obsahuje seznam možného krytí IP (Sokánský, 2007; ČSN EN 60529, 1993).

Tabulka 1.4 - Význam číslic pro krytí svítidel - kód IP (Sokánský, 2007)

První číslice	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů	Druhá číslice	Stupeň ochrany před vniknutím vody
0	bez ochrany	0	bez ochrany
1	před vniknutím pevných těles větších než 500 mm (hřbetu ruky)	1	před svisle kapající vodou
2	před vniknutím pevných těles větších než 12,5 mm (prstu)	2	před kapající vodou při sklonu 15°
3	před vniknutím pevných těles větších než 2,5 mm (jemné nástroje)	3	před dopadající vodou při sklonu 60° (déšť)
4	před vniknutím pevných těles větších než 1 mm (drátu)	4	před stříkající vodou (z libovolného směru)
5	před prachem (částečně, prach však nemůže narušit funkci svítidla)	5	před tryskající vodou (tj. tlakovou vodou)
6	úplně před prachem	6	před intenzivně stříkající vodou
		7	při dočasném ponoření (při určitém tlaku a čase)
		8	při trvalém ponoření

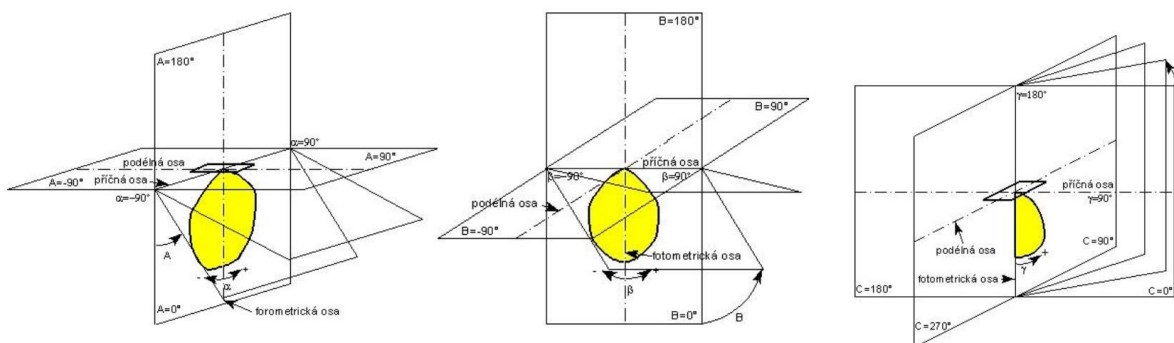
Zvláštní kategorií jsou svítidla do prostoru s nebezpečím výbuchu, označována jako svítidla v nevybušném provedení. Tyto svítidla lze používat v prostorech jako jsou: doly, pekárny, kotelny, sklady paliv apod. (Sokánský, 2007).

### 1.3.4 SVÍTIVOST

Svítivost je prostorová hustota světelného toku v různých směrech, označována  $I_{\gamma\xi}$ . Svítivosti jsou udávány nejčastěji pomocí fotometrického systému  $C - \gamma$ . „Svítivost svítidla ve směru určeném úhly  $\gamma$ ,  $\xi$  je jako prostorová hustota vyzařovaného světelného toku rovna světelnému toku obsaženému v jednotkovém prostorovém úhlu, a je dána vztahem“ (Habel, 2013) (1.4)

$$I_{\gamma\xi} = \frac{d\phi}{d\Omega_{\gamma\xi}} \text{ (cd, lm, sr),} \quad (1.4)$$

kde  $d\Omega_{\gamma\xi}$  je prostorový úhel, jehož osa leží ve směru daném úhly  $\gamma$ ,  $\xi$  a v jehož mezích uvažovaný zdroj světla vyzařuje tok  $d\phi$ . Jednotkou svítivosti je *kandela* (cd), patříci do základních jednotek soustavy SI. Rozložení svítivosti určitého svítidla lze znázornit pomocí izokandelového diagramu viz obr. 1.3 (Habel, 2013).



Obr. 1.2 - Křivky svítivosti ve fotometrických systémech A-α, B-β, C-γ (Sokánský, 2007)

Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti se používá činitele tvaru křivky  $K_F$  a úhlové pásmo maximální svítivosti. Činitel tvaru křivky je dán poměrem maximální svítivosti  $I_{\max}$  a střední svítivosti  $I_{\text{stř}}$  dle vztahu (1.5) (Sokánský, 2007)

$$K_F = \frac{I_{\max}}{I_{\text{stř}}} (-; \text{cd}, \text{cd}). \quad (1.5)$$

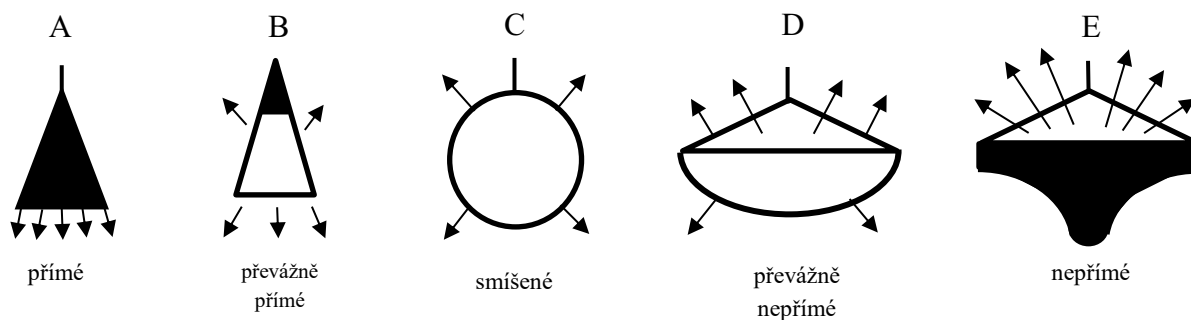
Tabulka 1.5 - Rozdělení svítidel dle tvaru křivky svítivosti (Sokánský, 2007)

Tvar křivky svítivosti		Úhlové pásmo maximální svítivosti [°]	Činitel křivky svítivosti
označení	název		
a	koncentrovaná	0 - 15	$K_F \geq 3$
b	hluboká	0 - 30; 150 - 180	$2 \leq K_F < 3$
c	kosinusová	0 - 35; 145 - 180	$1,3 \leq K_F < 2$
d	pološiroká	35 - 55; 125 - 145	$1,3 \leq K_F$
e	široká	55 - 85; 95 - 125	$1,3 \leq K_F$
f	rovnoměrná	0 - 180	$K_F \leq 1,3$ , přičemž $I_{\min} > 0,7 I_{\max}$
g	sinusová	70 - 90; 90 - 110	$1,3 < K_F$ , přičemž $I_{\min} > 0,7 I_{\max}$

Rozložení svítidel podle rozložení jejich světelného toku lze provádět podle rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru viz tabulka 1.6 a obr. 1.4 (Sokánský, 2007).

Tabulka 1.6 - Rozdělení svítidel dle rozložení jejich světelného toku (Sokánský, 2007)

Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru [%]	Světelný tok do horního poloprostoru [%]	Značení dle DIN 5040
přímé	90 - 100	0 - 10	A
převážně přímé	60 - 90	10 - 40	B
smíšené	40 - 60	40 - 60	C
převážně nepřímé	10 - 40	60 - 90	D
nepřímé	0 - 10	90 - 100	E



Obr. 1.3 - Rozdělení svítidel dle rozložení jejich světelného toku (Sokánský, 2007)

### 1.3.5 OSVĚTLENOST

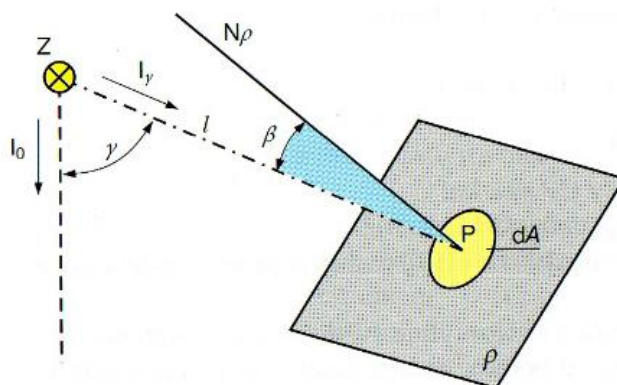
Osvětlenost neboli intenzita osvětlení  $E$  rovinné plošky  $dA$ . Což je plošná hustota světelného toku  $d\phi_d$  dopadajícího na plošku  $dA$ , se určuje vztahem (1.6) (Habel, 2013)

$$E = \frac{d\phi_d}{dA} (lx; lm, m^2). \quad (1.6)$$

Osvětlenost plošky  $dA$  je často nazývána jako osvětlenost v bodě.

Osvětlujeme-li bodovým zdrojem  $Z$  ze vzdálenosti  $l$  plošku  $dA$  tvořící okolí bodu  $P$  v rovině  $\rho$  a svírá-li normála  $N_\rho$  roviny  $\rho$  úhel  $\beta$  s paprskem  $l$ , lze vyjádřit vzorec pro osvětlenost  $E_{P_\rho}$  dle vztahu (1.7) (Habel, 2013)

$$E_{P_\rho} = \frac{l_y}{l^2} \cdot \cos \beta (lx; cd, m, -). \quad (1.7)$$



Obr. 1.4 - Určení osvětlenosti bodovým zdrojem (Habel, 2013)

### 1.3.6 SVĚTELNÝ TOK

Světelný tok je světelně technická veličina odpovídající zářivému toku a vyjadřující schopnost zářivého toku činit zrakový vjem. Jednotkou světelného toku je lumen (lm). Světelný tok  $\phi$  monochromatického záření určité vlnové délky  $\lambda$  se určí ze vztahu (1.8) (Habel, 2013)

$$\phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) (lm; lm \cdot W^{-1}, -, W). \quad (1.8)$$

Veličina  $K(\lambda)$  udává světelný účinek monochromatického záření, který je rovný poměru světelného toku a jemu odpovídajícího zářivého toku. Veličina  $K(\lambda)$  je vyjadřována součinem

maximální hodnoty spektrálního průběhu  $K_m$  a poměrné světelné účinnosti  $V(\lambda)$  vztahem (1.9) (Habel, 2013)

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \text{ (lm} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}. \quad (1.9)$$

Veličina  $V(\lambda)$  je poměrná světelná účinnost monochromatického záření definovaná vztahem (1.10) (Habel, 2013)

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_m} (-; \text{lm} \cdot \text{W}^{-1}). \quad (1.10)$$

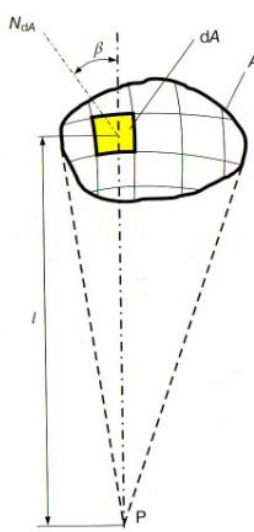
### 1.3.7 INDEX PODÁNÍ BAREV

Index podání barev  $R_a$ , označované taky jako CRI (z angličtiny Color Rendering Index), je číselné ocenění jakosti podání barev. Může dosahovat hodnot 0 až 100, přičemž hodnota  $R_a = 0$  odpovídá monochromatickému žlutému světlu nízkotlakých sodíkových výbojek, kde se barvy nerozlišují vůbec. Hodnota  $R_a = 100$ , odpovídá přírodnímu (dennímu) světlu a barvy jsou zde vnímány nejvěrněji. V současné době se velmi často v interiérech požaduje index podání barev  $R_a > 80$  (Habel, 2013).

### 1.3.8 PROSTOROVÝ ÚHEL

„Velikost prostorového úhlu je určena velikostí plochy vyřaté obecnou kuželovou plochou na povrch jednotkové koule, jejíž střed (vrchol prostorového úhlu) je totožný s vrcholem uvažované kuželové plochy“ (Habel, 2013). Jednotkou prostorového úhlu je steradián (sr), který je určený jednotkovou plochou  $1 \text{ m}^2$  na povrchu jednotkové koule s poloměrem 1 m. Prostorový úhel, pod kterým je ze středu koule o poloměru  $r$  vidět plocha  $A$  vyřatá na povrchu této koule, lze stanovit ze vztahu (1.11) (Habel, 2013)

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \text{ (sr; m}^2, \text{m)}. \quad (1.11)$$



Obr. 1.5 - Určení prostorového úhlu (Habel, 2013)

Pokud je plocha  $A$  rovna povrchu celé koule, tj.  $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$ , nabývá prostorový úhel největší hodnoty  $\Omega_{max} = 4 \cdot \pi$ . Na obr. 1.6 je znázorněna dílčí ploška  $\Delta A$  ve vzdálenosti  $l$  od bodu P a prostorovým úhlem  $d\Omega$ . Prostorový úhel  $d\Omega$  se stanoví ze vztahu (1.12) (Habel, 2013)

$$d\Omega = \frac{\Delta A \cdot \cos \beta}{l^2} \text{ (sr; m}^2 \text{, m)}. \quad (1.12)$$

### 1.3.9 MĚRNÝ VÝKON

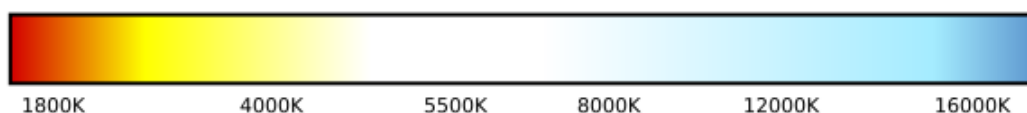
Měrný výkon  $\eta$  (lm / W), vyjadřuje účinnost světelného zdroje. Neudává se však v procentech, ale v lumenech na watt. Elektrický výkon  $P$  (W) se přemění na světelný tok  $\phi$  (lm) a také se zohledňuje i vnímání světelného záření okem. Teoreticky je maximum 683 lm / W, přičemž nejúčinnější světelné zdroje dosahují měrného výkonu až 200 lm / W a těmi jsou LED diody a nízkotlaké sodíkové výbojky (Sokánský, 2009).

Zdroje bez předřadníku mají udávaný měrný výkon shodný s příkonem světelného zdroje, avšak u světelných zdrojů s předřadníkem je nutné příkon předřadníku přičíst k příkonu světelného zdroje. Měrný výkon se vypočítá ze vztahu (1.13)

$$\eta = \frac{\phi}{P} \text{ (lm} \cdot \text{W}^{-1}\text{)}. \quad (1.13)$$

### 1.3.10 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI

Teplota chromatičnosti v praxi určuje barvu světla, která je závislá na spektrálním složení světla. Teplota chromatičnosti  $T_c$  je udávána v kelvinech (K)], ale často se také pracuje s její převrácenou hodnotou násobenou  $10^6$ , tzn.  $10^6/T_c$  která se udává v megakelvinech ( $\text{MK}^{-1}$ ). Teplota chromatičnosti se rovná teplotě černého zářiče, který má stejnou chromatičnost jako uvažované záření. Na obr. 1.7 lze vidět barvy chromatičnosti ve stupních kelvina (Habel, 2013).



Obr. 1.6 - Stupnice teplot chromatičnosti (Habel, 2013)

Rozdíly teplot chromatičnosti různých světél:

- 1200 – 1500 K – světlo svíčky,
- 2500 – 3200 K – žárovka,
- 3000 – 4000 K – východ / západ slunce,
- 5000 K – denní světlo, zářivky
- 5500 K – fotografické blesky, výbojky
- 6000 – 8000 K – oblačno
- 8000 – 11000 K – modré nebe bez slunce

### 1.3.11 OSLNĚNÍ

Oslnění je nepříznivý stav zraku, ke kterému dochází, pokud na sítnici, nebo její část působí jas vyšší, než na který je oko adaptováno. Oslnění se dělí na (Habel, 2013):

- oslnění přímé – způsobeno nadměrným jasnem osvětlovacích částí,
- oslnění odrazem – způsobeno odrazem světla od lesklých částí okolí, jako jsou předměty či plochy,
- oslnění přechodové – kdy se zrakové ústrojí nestihne rychle adaptovat na náhlou změnu jasu (přechod z tmavého prostředí do světlého),
- oslnění závoje – pokud je před sledovaným pozadím prostředí s vyšším jasnem (svícení dálkovými světly v mlze).

Ve světelné technice je však nejdůležitější relativní oslnění (oslnění kontrastem), které je způsobeno výskytem vyšších jasů v poměru s jasnem, na který je adaptován zrak. Dělí se na (Habel, 2013):

- **oslnění psychologické**
  - pozorovatelné
  - rušivé – pozorovatel je odpoutáván od vlastního zrakového úkolu, vznik pocitu subjektivní zrakové nepohody, vzrůst únavy
- **oslnění fyziologické**
  - omezující – zhoršení činnosti zraku, snížení ostrosti zraku a citlivosti na kontrast
  - oslepující – znemožnění činnosti zraku, daný čas po zániku příčiny oslnění

V osvětlovacích soustavách by se omezující a oslepující osvětlení nemělo vůbec vyskytovat. Vzniku rušivého osvětlení by se mělo co nejvíce bránit, obzvláště v prostorech, kde se pracuje (Habel, 2013).

Pro hodnocení oslnění byl založen globálně využívaný systém hodnocení oslnění pro vnitřní prostory – UGR (Unified Glare Rating) a pro venkovní prostory – GR (Glare Rating). Hodnota UGR je stanovena řadou a její hodnoty jsou: 10, 13, 16, 19, 22, 25 a 28. Tato řada určuje pozorovatelné rozdíly UGR (ČSN EN 12461-1, 2012).

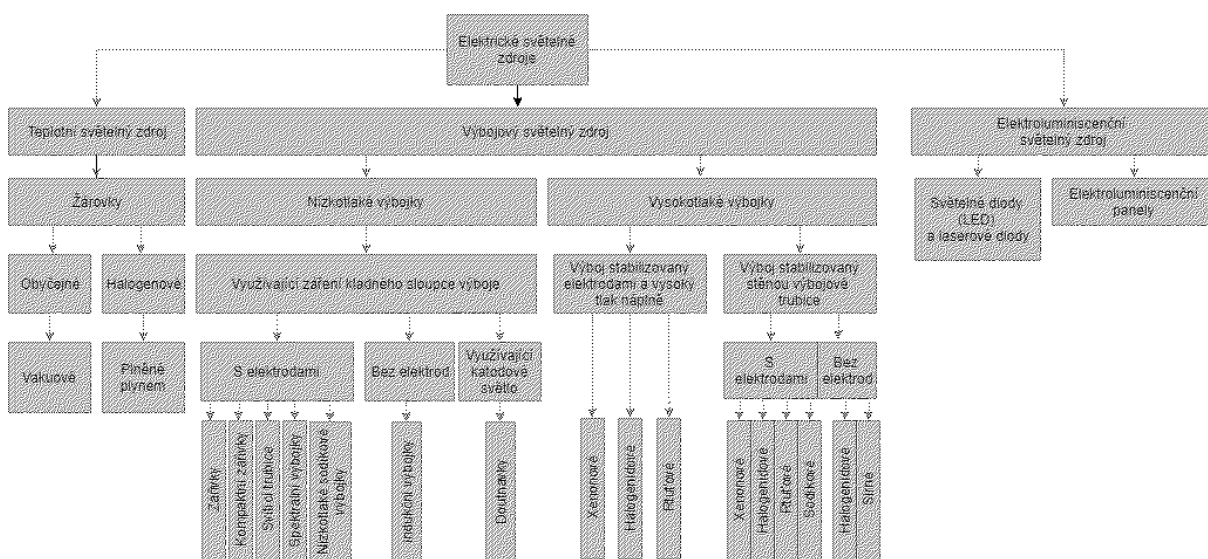
### 1.3.12 ŽIVOTNOST SVĚTLÝCH ZDROJŮ

Velmi důležitým parametrem u světelných zdrojů je životnost (život). Ten udává, jak dlouho vydrží daný světelný zdroj svítit. Definice životnosti rozdělujeme na tyto dvě:

- Udržovaná životnost – je definována vzhledem k postupnému poklesu světelného toku světelných zdrojů během života. Konce života dosáhne, pokud světelný tok zdroje bude na úrovni 80 % hodnoty světelného toku, který měla na počátku.
- Průměrná životnost – průměr životnosti jednotlivých světelných zdrojů, které jsou provozovány za určitých podmínek. Tato životnost je dána časem, kdy bude svítit polovina ze sledovaných světelných zdrojů a míra výpadku dosáhne 50 % (Sokánský, 2009).

## 1.4 SVĚTELNÉ ZDROJE A JEJICH TYPY

Světelné zdroje jsou tělesa, která vyzařují optické, převážně viditelné záření. Dělí se na přírodní (slunce, blesk aj.) a umělé (svíčka, žárovka, LED dioda, výbojka, zářivka aj.). Těleso, které přeměnou energie vyzařuje světlo, se nazývá primární zdroj světla. Pokud těleso, nebo jeho povrch světlo pouze propouští, nebo odráží, jedná se o sekundární zdroj světla (neřadí se mezi světelné zdroje). Mezi světelné zdroje se řadí umělý světelný zdroj, vyzařující optické záření. Umělé zdroje mohou přeměňovat různé druhy energie (elektrickou, biologickou, chemickou) na elektromagnetické záření v optickém intervalu spektra. Největší význam pro osvětlování mají v této době elektrické světelné zdroje, přeměňující elektrickou energii na světelnou. Na obr. 1.8 lze vidět rozdělení světelných zdrojů (Habel, 2013).



Obr. 1.7 - Struktura třídění světelných zdrojů (Habel, 2013)

### 1.4.1 OBYČEJNÁ ŽÁROVKA

Obyčejné žárovky jsou po celém světě stále ještě nejrozšířenějšími světelnými zdroji. Zdrojem záření je wolframové vlákno o tloušťce 10  $\mu\text{m}$  (žárovka 15 W) až 120  $\mu\text{m}$  (žárovka 200 W) (Habel, 2013).

Princip činnosti obyčejné žárovky: wolframové vlákno žárovky je odporový materiál. Vlákem prochází elektrický proud, vznikají ztráty v podobě tepla. Vlákno se zahřátím rozžhavlí a stává se zdrojem záření, kde až 96 % ÷ 98,5 % dodané elektrické energie je přeměněno na teplo a zbylé 1,5 % ÷ 4 % se mění na světlo (Habel, 2013).

Výhody žárovek jsou (Habel, 2013):

- malé rozměry a hmotnost, jednoduchý tvar a konstrukce,
- vyzařuje ve spojitém spektru s teplotou chromatičnosti 2700 až 2900 K,
- index podání barev  $R_a = 100$ ,
- mžikové rozsvícení bez blikání či míhání, velký rozsah pracovních teplot,
- může svítit v libovolné poloze, jednoduchá výměna vadné žárovky,
- lze napájet přímo ze sítě, lze konstruovat pro různá napájecí napětí.



Nevýhody žárovek jsou (Habel, 2013):

- nízký měrný výkon – asi 7 % ÷ 10 % (v celém spektru), 1,5 % ÷ 4 % (ve viditelném spektru), zbytek energie je tepelná ztráta,
- relativně krátký život,
- vysoký pokles světleného toku v průběhu života – o 20 % ÷ 25 %.

V tabulce 1.7 lze vidět porovnání světelně-technických parametrů obyčejných žárovek s příkonem od 15 W do 200 W a s životem 1000 h při jmenovitém napájení 230 V (Habel, 2013).

Tabulka 1.7 - Porovnání světelně technických parametrů obyčejných žárovek (Habel, 2013)

Příkon žárovky [W]	15	25	40	60	75	100	150	200
Světelný tok [lm]	90	230	430	730	960	1380	2220	3150
Měrný výkon [lm/W]	6	9,2	10,75	12,17	12,8	13,8	14,8	15,75

## 1.4.2 HALOGENOVÉ ŽÁROVKY

Halogenové žárovky jsou žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin (ČSN IEC 50 (845), 1996). Po obyčejných žárovkách byly novou generací světelných zdrojů.

Halogenová žárovka má oproti obyčejné žárovce menší konstrukci, kde byly vyloučeny materiály reagující s halogeny. Baňka halogenové žárovky je tvořena z tvrdého nebo křemenného skla, kvůli vyšší pracovní teplotě 250 °C. Použití tvrdého skla dovoluje zvýšit tlak plynu uvnitř žárovky, což snižuje rychlost odpařování wolframového vlákna. Měrný výkon dosahuje 20 ÷ 26 lm / W. Halogenové žárovky našly uplatnění v osvětlovací technice, ale postupem času jsou nahrazovány světelnými diodami (Habel, 2013).

Vnější baňka halogenové žárovky je vyrobena z tvrdého nebo křemenného skla. Wolframové vlákno je vinuto jednoduše nebo dvojité svinutou šroubovicí. Plynou výplň halogenové žárovky tvoří inertní plyn a sloučenina obsahující halogen (methyljodid, methylenbromid aj.). Díky technologii, kdy je k plnění baněk sloučeninou plynů použit tekutý dusík, dosahuje tlak plynu uvnitř baňky ve vypnutém stavu několik barů. Během svícení se tlak v baňce ještě zvýší, což snižuje rychlost vypařování wolframového vlákna a tím i životnost žárovky. Působením vysokého tlaku uvnitř žárovky může dojít k její explozi a proto je nutné tyto žárovky používat ve svítidlech spolu s přídatným ochranným sklem. V novějších typech žárovek se využívá nízkého tlaku plynu, tudíž se problémy s explozí nevyskytují. Nízkotlaké halogenové žárovky lze používat i v otevřených světlech, tj. bez přídatného ochranného skla (Habel, 2013).

Výhody halogenových žárovek jsou (Habel, 2013):

- stabilní světelný tok a teplota chromatičnosti v průběhu života,
- bílé světlo s teplotou chromatičnosti 2900 - 3100 K,
- vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světelnou,
- kompaktnější rozměry halogenové žárovky umožňují konstruovat menší svítidla,
- delší život halogenové žárovky při stejném měrném výkonu.

Nevýhody halogenových žárovek jsou (Habel, 2013):

- náročnější technologie výroby,

- při stmívání žárovky neprobíhá halogenový cyklus a tím žárovka tmavne,
- vyšší cena.

### 1.4.3 LINEÁRNÍ ZÁŘIVKA

Zářivka patří mezi nízkotlaké výbojové zdroje, přesněji řečeno, jedná se o nízkotlakou rtuťovou výbojku, kde je hlavní část světla vyzařována jednou či několika vrstvami luminoforu, který je buzený UV zářením výboje. Jedná se většinou o trubcové (lineární) zdroje, nebo mohou mít trubici různě tvarovanou. Barevný odstín světla a index podání barev je závislý na typu použitého luminoforu. Významným pokrokem v oblasti luminoforů a elektroniky, byla možnost konstruovat zářivky s indexem podání barev  $R_a$  převyšujícím 80, realizovat provoz zářivky při vysoké frekvenci, čímž zvýšit měrný výkon zářivek až na 104 lm / W a zmenšit rozměry zářivek (Habel, 2013).

Zářivky jsou napájeny při frekvenci 50 Hz a vyžadují předřadný obvod skládající se z elektromagnetických dílů jako jsou tlumivky a žhavicí transformátory. Při napájení s vysokými frekvencemi se uplatňují moderní elektronické součástky (Habel, 2013).

Princip činnosti: Ve skleněné trubici zářivky jsou dvě wolframové elektrody a náplň rtuti (3 mg). Na wolframové elektrody je přiveden vysokonapěťový elektrický impuls, poté dojde k elektrickému průrazu v plynném prostředí uvnitř trubice. Průraz způsobí ionizaci vnitřního prostředí, které umožní průtok proudu. Tímto vznikne v zářivce výboj. Zářivka má maximum vyzářeného světla v oblasti 250 nm, což je oblast ultrafialového záření, proto je na stěnách trubice nanesen speciální bílý prášek – luminofor, který mění toto záření ve viditelné (Sokánský, 2009).

Výhody lineárních zářivek jsou (Habel, 2013):

- vysoký měrný výkon při vysokofrekvenčním napájení – až 104 lm / W, při  $R_a = 80$ ,
- široký sortiment příkonů od 4 W do 200 W,
- široký sortiment zářivek s teplotou chromatičnosti od 2700 do 17 000 K,
- dlouhý život zářivek dosahující 15 000 h, u speciálních zářivek až 20 000 h.

Nevýhody lineárních zářivek jsou (Habel, 2013):

- nutnost likvidace zářivek u specializovaných organizací kvůli obsahu rtuti,
- závislost světelného toku na teplotě okolního prostředí,
- potřeba předřadných a startovacích obvodů.

Vlastnosti zářivek lze zlepšit jejich provozem na vysoké frekvenci s použitím elektronických předřadníků. Ty spojují funkci zapálení výboje a jeho stabilizaci během provozu. Moderní předřadníky převyšují frekvenci 30 kHz a zvyšují účinnost až o 10 %. Mají také další výhody jako např. (Habel, 2013):

- potlačení stroboskopického efektu,
- rychlý start bez blikání šetrný ke katodě, stabilní svícení bez míhání (na které je lidské oko při frekvenci 50 Hz citlivé),
- nižší energetické ztráty v elektronickém předřadníku i jeho nižší hmotnost,
- menší průměr i délka trubice.

Zářivky jsou vyráběny ve čtyřech průměrových řadách (Habel, 2013):

- T2 (7 mm), T5 (16 mm), T8 (26 mm) a T12 (38 mm)

Lineární zářivky jsou nejvyužívanější ve vnitřních osvětlovacích soustavách, nejvíce v průmyslu, školách, obchodech, restauracích, nemocnicích a administrativních budovách.

#### 1.4.4 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKY

Kompaktní zářivky postupně nahrazují obyčejné žárovky. Jejich výhoda je ve vyšším měrném výkonu  $50 \div 80 \text{ lm / W}$  (v porovnání s  $9 \div 15 \text{ lm / W}$  u obyčejné žárovky) a mnohem delším životě ( $5 \div 20$  krát delší než u obyčejné žárovky) (Habel, 2013).

Princip činnosti je obdobný jako u lineárních zářivek. Výbojová trubice je složena ze skla se speciálním složením, např. přísady ceru, které neobsahují ekonomicky nežádoucí olovo. Vnitřní stěna trubice je tvořena vrstvou úzkopásmových luminoforů. Elektrody jsou wolframové a pokryté emisní hmotou. Výboj svítí ve směsi par rtuti a argonu. Konce výbojové trubice jsou opatřeny různými paticemi (Habel, 2013).

Základní tvary kompaktních zářivek jsou: šroubovice, tvar písmene U, nebo složitější tvary jako 2U, 3U, 4U i 8U. Kompaktní zářivky se snaží tvarem a křivkou rozložení svítivosti přiblížit obyčejným žárovkám (Habel, 2013).

Kompaktní zářivky se dělí do dvou skupin (Habel, 2013):

- zářivky s vnějším předřadníkem,
- zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem.

Výhody kompaktních zářivek jsou (Habel, 2013):

- vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, při použití elektronického předřadníku je měrný výkon až  $87 \text{ lm / W}$ , což je oproti obyčejné žárovce asi 80 % úspora elektrické energie,
- vysoké podání barev  $R_a$  vyšší než 80
- blíží se světelným tokem, geometrickými parametry a kvalitou podání barev k obyčejným žárovkám
- vyšší rozsah provozních teplot  $-10$  až  $+70 \text{ °C}$ ,
- život kompaktní zářivky až 20 000 h,
- lze je provozovat se stmívači,
- nízký obsah rtuti.

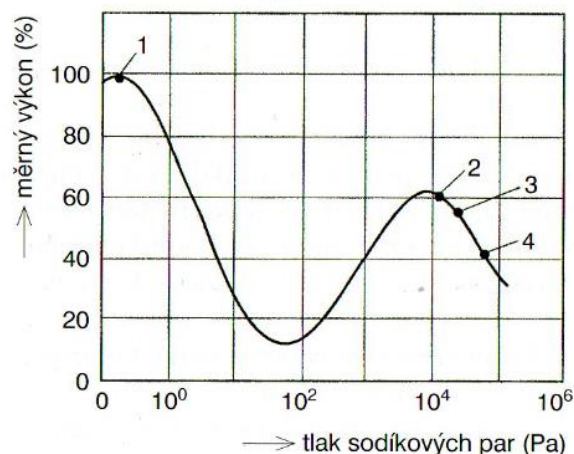
Nevýhody kompaktních zářivek jsou (Habel, 2013):

- omezená horní hranice příkonu vyplývající z možností nízkotlakého výboje,
- obsahují toxickou rtuť,
- četnost zapínání má vliv na její život,
- teplota okolního prostředí má vliv na světelné parametry.

#### 1.4.5 NÍZKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY

Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje, v nichž je světlo vyzařováno sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem v rozmezí  $0,1 \text{ Pa} \div 1,5 \text{ Pa}$  (ČSN IEC 50 (845), 1996). Pracovní teplota nízkotlakých sodíkových výbojek je  $270 \text{ °C}$  při tlaku par sodíku  $0,5 \text{ Pa}$ . Sodík vyzařuje ve žluté

části viditelného spektra s vlnovou délkou  $589 \text{ nm} \div 589,6 \text{ nm}$ , to se blíží maximu spektrální citlivosti lidského oka. Nejvýkonnější typ těchto výbojek dosahuje měrného výkonu téměř  $200 \text{ lm} / \text{W}$ , což bylo zatím jedno z neúčinnějších umělých světelných zdrojů. Vyšší účinnost dosahují pouze některé LED zdroje. Na obr. 1.9 je vyjádřena závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par (Habel, 2013).



Obr. 1.8 - Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par (Habel, 2013)

Princip činnosti: Výboj probíhá z hořáku z vápenatého skla, který je uvnitř pokryt vrstvou boritého skla, které je odolné proti působení sodíku a jeho par při vysokých pracovních teplotách. Hořáky většiny nízkotlakých výbojek jsou konstruovány ve tvaru U z důvodu prodloužení výbojové dráhy. Delší výbojová dráha vyžaduje zvýšení příkonu a tím se zvýší i světelný tok. Elektrody umístěné na obou koncích trubice jsou vyrobeny z wolframového drátu, stočeného do dvojité nebo trojitě šroubovice. Je velmi důležitý teplotní režim výbojky, neboť výboj pracuje v režimu nasycených par, jejichž tlak je určen teplotou nejstudenějšího místa hořáku. Aby se zamezilo kondenzaci sodíku na jednom místě, jsou po celé délce hořáku rozmístěny rovnoměrně důlky, jež tvoří chladné zóny. V těchto důlcích se udržuje sodík v kapalném stavu a díky tomu je po celé délce hořáku zajištěna rovnoměrná koncentrace par sodíku ve výboji. Hořák se plní čistým sodíkem a inertním plynem, chrání elektrodu před rychlým rozprašováním, odpařováním emisní hmoty a usnadňuje zapálení výboje ve studeném stavu, kdy je tlak sodíkových par velmi nízký (Habel, 2013).

Nízkotlaké sodíkové výbojky mají vlivem své konstrukce hořáku a náplně vyšší zápalné napětí, proto je nutné používat předřadné obvody pro spolehlivý zápal a stabilní provoz. Jedná se o rozptylový transformátor a zapalovací kondenzátor připojený k odbočce tlumivky, nebo hybridní předradník.

Výhody nízkotlakých sodíkových výbojek jsou (Habel, 2013):

- dlouhý život až 20 000 h s velmi dobrou stabilitou světelného toku,
- světlo zajišťující dobrou viditelnost i v husté mlze,
- spolehlivý a rychlý zápal i při teplotách  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- vysoký měrný výkon dosahující až  $200 \text{ lm} / \text{W}$ ,
- široký interval teplot, kdy je účinnost výbojky nezávislá na teplotě okolí,
- neobsahuje toxickou rtuť, ale díky poměrně vysokému množství sodíku je nutné výbojky likvidovat u specializovaných organizací.

Nevýhody nízkotlakých sodíkových výbojek jsou (Habel, 2013):

- velmi nízké podání barev,  $R_a = 0$ , spektrum vyzařovaného světla je téměř monochromatické,

- v průběhu života roste příkon (až o 40 %),
- vyšší zápalné napětí vyžadující předřadníky,
- pulsace světelného toku,
- vyšší ztráty v předřadníku.

Při použití s vysokofrekvenčními předřadníky můžou nízkotlaké sodíkové výbojky dosahovat vysokého měrného výkonu dosahujícího až 500 lm / W. Kvůli nízké kvalitě podání barev se tyto světelné zdroje používají pouze jako osvětlení dálnic, tunelů a jako speciální technické a dekorační osvětlení (Habel, 2013).

#### 1.4.6 INDUKČNÍ VÝBOJKY

Indukční výbojky jsou novou kategorií světelných zdrojů, kde je výboj buzen vnějším vysokofrekvenčním polem. Prostor, v němž probíhá výboj, neobsahuje elektrody, což vede k významnému zjednodušení výroby, protože výbojka neobsahuje tolik konstrukčních dílů, se kterými by mohla reagovat vnitřní náplň. Jako svítící prvek je stejně jako u kompaktních a lineárních zářivek využita rtuť s luminoforem, nebo síra (Habel, 2013).

Existují dva druhy indukčních výbojek:

- výbojka s vnitřní indukční cívkou,
- výbojka s vnější indukční cívkou.

Popis činnosti výbojky s vnitřní indukční cívkou: Baňka ve tvaru hrušky, do které je z jedné strany zatavena otevřená trubice, do které se vkládá feritové jádro s indukční cívkou napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. Vnější povrch baňky je obalen kovovou sítí, která potlačuje záření, rušící rádiový příjem. Napájecí zdroj je vysokofrekvenční generátor doplněný speciálním obvodem, který odpojí vadnou výbojku do 5 s. Výbojky jsou napájeny napětím 200 V ÷ 240 V. Opakovaný znovuzápal má dobu 0,1 s. Jmenovitý život se uvádí až 100 000 h, ale ekonomický život (doba kdy je funkčních 80 % výbojek) se uvádí dle výrobce 60 000 h (Habel, 2013).

Popis činnosti výbojky s vnější indukční cívkou: Výbojový prostor, který obsahuje páry rtuti a argon, tvoří uzavřený závit kruhového průřezu formovaný do pravoúhlého půdorysu, v němž vzniká bezelektrodový výboj, vyvolaný působením střídavého magnetického pole vytvářeného dvěma cívkami a zesílenými feritovými jádry, na které jsou cívky navinuty. Feritová jádra obklopují výbojový prostor na protějších stranách výbojové trubice. Tato soustava pracuje jako transformátor. Cívky tvoří primární vinutí a plazma uvnitř výbojky sekundární vinutí. Pracovní frekvence je poměrně nízká, 250 kHz a výhody vysokofrekvenčního výboje jsou zachovány (Habel, 2013).

Výhody indukčních výbojek jsou (Habel, 2013):

- okamžitý start i znovuzápal,
- nízký vliv kolísání napájecího napětí na světelný tok,
- v průběhu života dobrá stabilita světelného toku,
- velmi dlouhý život – až 100 000 h,
- snížené náklady na údržbu díky extrémně dlouhému životu,
- vysoký měrný výkon – až 100 lm / W s podáním barev  $R_a > 80$ .

Nevýhody indukčních výbojek jsou (Habel, 2013):

- zvýšení příkonu by znamenalo zvětšení plochy pokryté luminoforem, tudíž i zvětšení rozměrů výbojky (nejvýkonnější výbojka má příkon 400 W),
- až na výjimky nejsou stmívatelné,
- vysoká cena.

### 1.4.7 VYSOKOTLAKÉ RTUŤOVÉ VÝBOJKY

Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou světelné zdroje, kde hlavní část světla vzniká v rtuťovém výboji při pracovním tlaku vyšším než 100 kPa. Část světla může vznikat i v baňce pokryté luminoforem, který vybudí ultrafialové záření (ČSN IEC 50 (845), 1996).

Popis činnosti: Výboj u vysokotlaké rtuťové výbojky probíhá v hořáku vyrobeného z křemenného skla s tlakem par rtuti převyšujících 100 kPa. Hořák je plněný rtutí a argonem o tlaku kolem 2,7 kPa a upevněn v baňce. Skládá se ze dvou hlavních elektrod z wolframu, mezi kterými hoří hlavní oblouk a třetí zapalovací elektrodou. Přídavná baňka ve tvaru elipsy slouží jako tepelná izolace a je naplněna směsí dusíku a argonu o tlaku asi 50 kPa. Spektrum záření hořáku se skládá z viditelného a ultrafialového záření o vlnových délkách – fialová (404,7 nm – 407,8 nm), zelená (546,1 nm), žlutá (577 nm – 579 nm) a modrá (435,8 nm). Vysokotlaké rtuťové výbojky s čirou baňkou vyzařují modrozelené světlo. K dosažení bílého světla je nutné nanést na vnitřek baňky luminofor, který transformuje ultrafialové záření hořáku na červenou barvu, která spolu s ostatními barvami vytvoří bílé světlo (Sokánský, 2009).

Náběhový čas vysokotlaké rtuťové výbojky je 3 min ÷ 5 min. Měrný výkon se pohybuje mezi 40 ÷ 60 lm/W s indexem podání barev  $R_a = 40 \div 60$  s životem výbojky 12 000 h ÷ 16 000 h. Tento způsob osvětlení se využívá například v průmyslu a tam, kde se nevyužívá častého zhasínání / rozsvícení svítidel (Sokánský, 2009).

Výhody vysokotlakých rtuťových výbojek jsou (Habel, 2013):

- dobrá stabilita světelného toku v průběhu života výbojky – úbytek cca. 20 %,
- nízký vliv okolní teploty na parametry svítidla,
- nízká cena,
- spolehlivost dána jednoduchostí zapojení,
- dlouhý život 12 000 ÷ 16 000 h,
- nízký činitel údržby – nízká poruchovost.

Nevýhody vysokotlakých rtuťových výbojek jsou (Habel, 2013):

- nízká účinnost v porovnání s moderními výbojovými svítidly,
- nutnost specializované likvidace vyhořelých výbojek,
- výbojku po zhasnutí lze znovu rozsvítit až po jejím vychladnutí,
- není vhodné pro stmívání,
- horší podání barev.

### 1.4.8 HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY

Halogenidové výbojky jsou vysokotlaké výbojky, jejichž světlo vzniká převážně zářením par kovů, popř. vzácných plynů a produktů štěpení halogenidů (ČSN IEC 50 (845), 1996). Halogenidy

dodávají barvy světla, které vysokotlaková rtuťová výbojka neobsahuje a dají se vyrobit s libovolnou barvou světla (teple bílá, denní, bílá) (Sokánský, 2009).

Princip činnosti: výboj je zapálen vnějším zapalovací zařízením zajišťujícím vysokonapěťový impuls  $1,8 \text{ kV} \div 2,5 \text{ kV}$ . Nejdříve probíhá výboj v parách rtuti a v inertním plynu (u bezrtuťové výbojky v xenonu). Narůstající teplotou se zvyšuje koncentrace halogenidů ve výboji. Teplotní režim výbojky se ustálí během 5 min – 10 min. Při pracovní teplotě hořáku se v oblasti s vysokou teplotou štěpí halogenidy na atomy halogenu a atomy příslušného kovu, které se vybudí až září. (Habel, 2013).

Halogenidové výbojky se dělí z hlediska použitého materiálu na výrobu hořáku do dvou skupin – výbojky s křemenným hořákem a výbojky s keramickým hořákem (Habel, 2013).

Halogenidové výbojky mají měrný výkon pohybující se v rozmezí  $80 \div 130 \text{ lm} / \text{W}$ . Život výbojek dosahuje 10 000 h při indexu podání barev až 95. Využívají se pro venkovní osvětlení, osvětlení sportovišť, v průmyslu, výstavních halách, prodejnách apod. (Sokánský, 2009).

Výhody halogenidových výbojek jsou (Habel, 2013):

- velký rozsah příkonů ( $70 \text{ W} \div 5000 \text{ W}$ ),
- výborné podání barev,
- možnost úpravy spektrálního složení vyzařovaného světla,
- dlouhý život (až 10 000 h)

Nevýhody halogenidových výbojek jsou (Habel, 2013):

- technologická náročnost výroby,
- vyšší pořizovací cena,
- nutnost zapalovacího zařízení,
- citlivost na kolísání sítě.

Po krátkodobém přerušení napájecího napětí je nutné nechat výbojku 10 min  $\div$  15 minut vychladnout, jinak se v běžných svítidlech nerozsvítí. U náročnějších instalací, kde je nutné, aby se výbojka po přerušení napájení znovu rozsvítila je nutné použít speciální výbojku a příslušné zapalovací napětí, které dokáže vyprodukovat napěťový impuls s amplitudou vyšší než 30 kV (Habel, 2013).



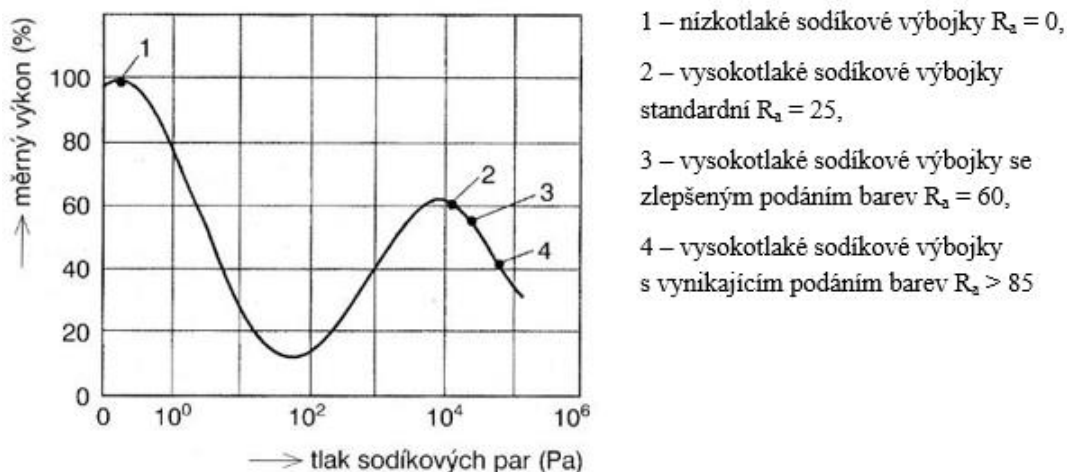
Obr. 1.9 - Halogenidová výbojka OSRAM POWERSTAR HQI-T 400W/N E40 (Habel, 2013)

#### 1.4.9 VYSOKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje, ve kterých je světlo vyzařováno hlavně sodíkovými parami s provozním tlakem v rozmezí  $3 \text{ kPa} \div 60 \text{ kPa}$  (ČSN IEC 50 (845), 1996).

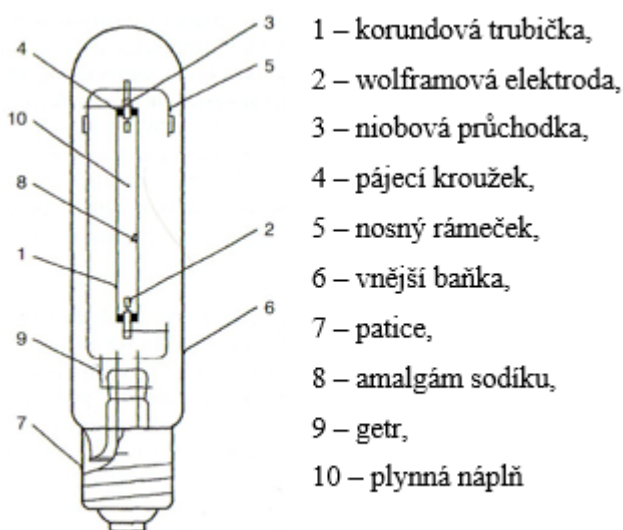
Při zvyšování tlaku par sodíku klesá světelná účinnost, prochází minimem a poté znovu roste, takže při tlaku cca 10 kPa dosahuje druhého maxima viz. bod 2 na obr. 1.11 a může dosáhnout

měrného výkonu až 150 lm / W. Rostoucím tlakem v sodíkové výbojce dochází k rozšíření spektrálních čar a vzniku silného spojitého záření. Spektrum záření je bohatší, což má za následek lepší podání barev. Speciální vysokotlaké výbojky mohou dosahovat podání barev  $R_a > 85$  (Habel, 2013).



Obr. 1.10 - Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par (Habel, 2013)

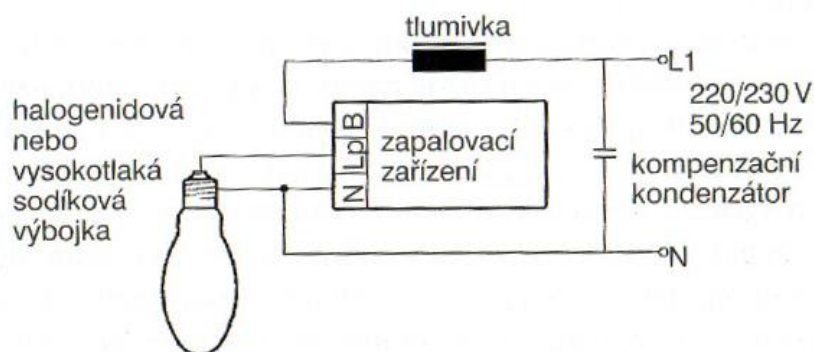
Principiální schéma vysokotlaké sodíkové výbojky je naznačena na obr. 1.12. Hořák je vyroben z průsvitného korundu a trubice je na obou koncích uzavřena proudovými průchodkami, které jsou ke korundové trubici připájeny speciální skleněnou pájkou. Kvalita provedení pájky má rozhodující vliv na životě výbojky. Tento spoj kov – keramika musí odolávat dlouhodobému namáhání způsobenému vysokými teplotami par sodíku, rtuti a také teplotním rázům při zapínání a vypínání výbojky (Habel, 2013).



Obr. 1.11 - Principiální schéma vysokotlaké sodíkové výbojky (Habel, 2013)



Vysokotlaké sodíkové výbojky je nutné provozovat s tlumivkou a správným zapalovacím zařízením vyhovujícím mezinárodním normám IEC, nebo s elektronickým předřadníkem. Nyní jsou k dispozici elektronické předřadníky pro celý sortiment výbojek. Na obr. 1.13 je nakresleno schéma nejpoužívanějšího zapojení zapalovacího zařízení pro halogenidové i vysokotlaké sodíkové výbojky (Habel, 2013).



Obr. 1.12 - Schéma zapojení vysokotlaké sodíkové a halogenidové výbojky (Habel, 2013)

Hlavní oblastí využití vysokotlakých sodíkových výbojek je: pouliční osvětlení, osvětlení tunelů, nádraží, letišť, fasád, průmyslových objektů atd., a tam, kde nejsou kladeny velké nároky na kvalitu podání barev. Rozvojem halogenidových výbojek se však oblast jejich použití zúžila.

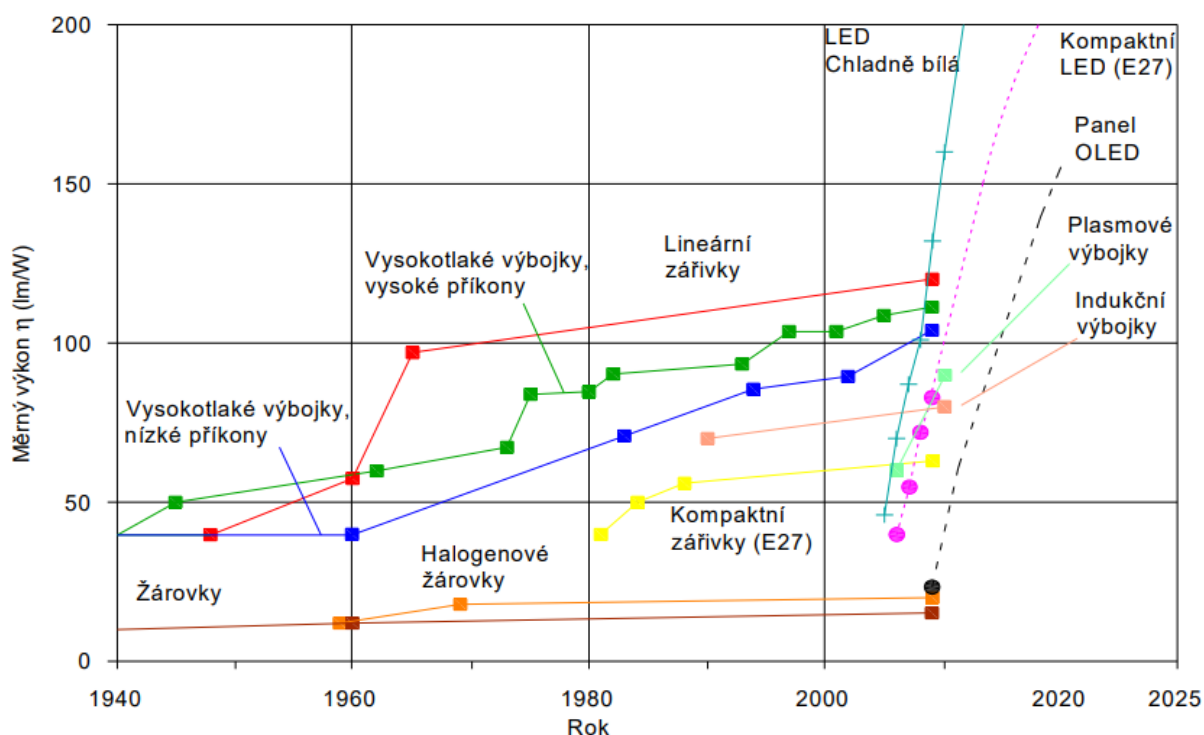
Výhody vysokotlakých sodíkových výbojek jsou (Habel, 2013):

- život výbojky dosahující až 30 000 h,
- spolehlivý provoz a snadná údržba,
- vysoký měrný výkon a přijatelné podání barev  $R_a = 20 \div 25$ ,
- kompaktní rozměry,
- konkurence výrobců, tudíž i tlak na snížení ceny.

#### 1.4.10 ELEKTRO-LUMINISCENČNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE

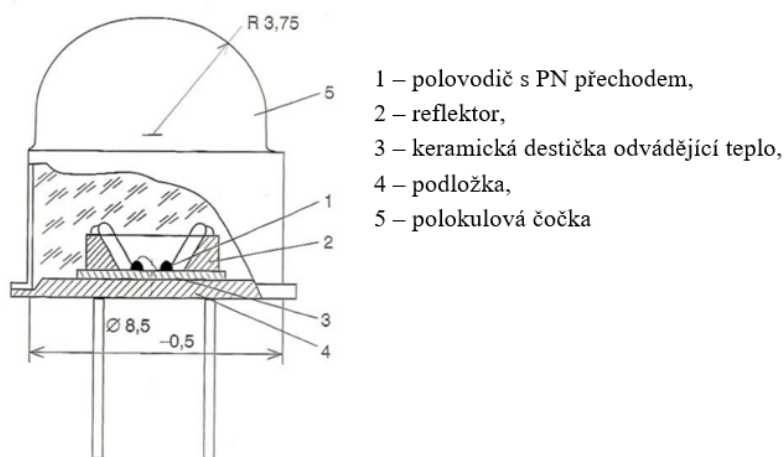
Světelné diody LED (z anglického Light Emitting Diode), laserové diody a elektroluminiscenční panely patří do skupiny elektro-luminiscenčních světelných zdrojů. Světelné a laserové diody jsou polovodičové součástky, které obsahují PN přechod emitující optické záření při průchodu elektrického proudu.

Světelné diody v posledních letech postihuje velmi rychlý rozvoj. Princip světelných diod byl objeven již ve 20. letech minulého století, avšak první v praxi použitelné diody se objevily až v roce 1962. Od doby jejich uvedení na trh jsou soustavně vyvíjeny nové materiály, zdokonalují se technologické procesy, což vedlo k postupnému rozšíření sortimentu o další barvy, zvýšení měrného výkonu, prodloužení života a zlepšení dalších světelných technických parametrů. Světelné diody nyní patří mezi nejvyužívanější světelné zdroje. Zvyšování účinnosti přeměny elektrické energie na světelnou je u modrých diod na 60 lm / W, více než 200 lm / W u bílých diod, cca 260 lm / W u červených, více než 500 lm / W u žlutých a téměř 590 lm / W u zelených diod (HEINZ, 2006). Na obr. 1.14 lze vidět graf historického vývoje měrného výkonu světelných zdrojů v čase.



Obr. 1.13 - Historický vývoj měrného výkonu světelných zdrojů (Habel, 2013)

Konstrukci světelné diody lze vidět na obr. 1.15. K vytvoření polovodičových PN přechodů jsou použity zejména polovodiče vysoké čistoty, obohacené malým množstvím vhodné příměsi, které vytváří přebytek elektronů (materiály typu N), nebo jejich nedostatek (materiály typu P). V místě styku polovodičů obou typů vzniká tzv. přechod PN, kde při rekombinaci každého páru elektron-díra je uvolněno určité kvantum energie, které je vyzářeno mimo krystal. Elektrická energie se tímto mění přímo na světlo o určité barvě (Habel, 2013).



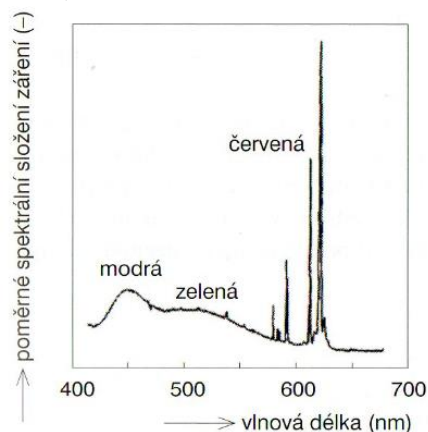
Obr. 1.14 - Konstrukce světelné diody se dvěma krystaly (Habel, 2013)

Jako první diody vyzářovali červené světlo, poté se objevily diody se zelenou, oranžovou, žlutou a následně modrou barvou. Výše vyjmenované typy diod se vyznačují velmi úzkou křivkou

spektrálního složení o vlnových délkách do několika desítek nanometrů. Díky doplnění sortimentu o modrou barvu bylo možné vyvinout také diody bílé barvy, které září v celé viditelné oblasti spektra, čímž se rozšířila oblast použití světelných diod do všeobecného osvětlení. Rovněž se vyrábějí i LED diody zářící v infračervené nebo ultrafialové oblasti spektra (Habel, 2013).

Bílé světlo LED lze získat dvěma způsoby (Habel, 2013):

- smícháním barev červené, zelené a modré LED, kde je potřeba využití náročného HW a SW. Výsledkem je nižší jas v důsledku nerovnoměrné degradace jednotlivých čipů, čímž může v průběhu života docházet k nežádoucím posunům barvy vyzařovaného světla,
- využití fosforescence luminoforů, obdobný proces jako u klasických zářivek. Modrá dioda vyzařuje UV záření, které je absorbováno třípásmovým luminoforem a znovu vyzařeno o vyšší vlnové délce (viz obr. 1.16)



Obr. 1.15 - Emisní spektrum bílé LED diody (třípásmový luminofor buzený UV zářením diody) (Habel, 2013)

Výhody LED diod jsou rozděleny do několika částí (Habel, 2013).

- Elektrické a světelné parametry (Habel, 2013):
  - snadná regulace díky stejnosměrnému provozu,
  - při spojení LED diod do série lze dosáhnout vyšších hodnot světelného toku,
  - modulace záření pomocí napájecího napětí,
  - krátká doba náběhu (kratší než obyčejné žárovky),
  - mohou pracovat v impulsním režimu bez záporného vlivu na život a spolehlivost,
  - plně stmívatelné bez změn barvy,
  - vysoký jas i index podání barev,
  - svítí v libovolné poloze,
  - energeticky úsporné – velmi reálná návratnost investice,
  - možnost napájení solárními články,
  - vysoký měrný výkon – nejvýkonnější zdroje nyní dosahují přes 200 lm / W.
- Geometrické parametry (Habel, 2013):
  - malé rozměry,
  - možnost vytvářet širokou škálu světelných zařízení a svítidel různých tvarů, rozměrů a výkonů.
- Kalorimetrické parametry (Habel, 2013):
  - velký počet barev,

- možnost vyrobit LED bílé barvy s dobrou účinností, vysokým Ra a s různou teplotou chromatičnosti,
- možnost vyrobit LED zářící ve spektru ultrafialové a infračervené oblasti,
- různé barvy jsou vesměs monochromatické.
- Provozní parametry (Habel, 2013):
  - velmi spolehlivé,
  - extrémně dlouhý život – 60 tis. h. až 100 tis. h., při úbytku světelného toku 30 % ÷ 40 % (tato podmínka závisí zejména na teplotních podmínkách),
  - náklady na údržbu a výměnu vadných zdrojů jsou nižší v porovnání s klasickými zdroji,
  - široký interval teploty okolního prostředí -30 °C až 60 °C,
  - snáší vibrace lépe než žárovky, zářivky apod.,
  - nízké povrchové teploty, proto lze LED diody konstruovat do plastových krytů.
- Vlivy na životní prostředí (Habel, 2013):
  - absence rtuti,
  - bez negativního vlivu na životní prostředí při provozu ani po ukončení života.

LED zdroje v současné době nahradili mnoho světelných zdrojů, od obyčejných žárovek, přes zářivky, světelné trubice, halogenové žárovky až po výbojky apod. LED svítidla se používají i ve venkovním osvětlení, nebo ve světlometech automobilů (Habel, 2013).

Nevýhody světelných diod jsou (Habel, 2013):

- vysoká cena,
- významná závislost jejich hlavních parametrů na teplotě okolí,
- vyšší hodnota oslnění *UGR* oproti ostatním světelným zdrojům.

## 1.5 ŘÍZENÍ A REGULACE OSVĚTLENÍ

Hlavními důvody regulace osvětlení je dosažení požadovaného osvětlení, přizpůsobení osvětlení požadavkům investora a snížení provozních nákladů na osvětlení. Dříve se světelné zdroje regulovaly z důvodu přizpůsobení jasů určité situaci, ale v posledních desetiletích se reguluje intenzita osvětlení hlavně z ekonomického hlediska. Vývojem nových elektronických technologií se ustupuje od klasického ovládání osvětlovací soustavy změnou napájecího napětí a stále více se k ovládání osvětlení používají řídicí systémy. Řídicí systémy nejsou však využívány jenom k řízení osvětlení, ale hlavně technologií v budovách jako je vytápění, klimatizace, požární signalizace, bezpečnostní systémy apod. Výhodou těchto řídicích systémů jsou výše zmíněné ekonomické úspory, ale také zvýšení komfortu (Sokánský, 2004).

Nejdůležitějšími kritérii řízení osvětlovacích soustav jsou (Sokánský, 2004):

- úspora elektrické energie – optimálně nastavená osvětlovací soustava spolu s řídicím systémem a časovým plánem dosahuje vysokých úspor elektrické energie,
- flexibilita – řídicí systém lze maximálně přizpůsobit potřebám investora,
- přesnost a funkčnost systému – dána kvalitou použitého řídicího systému a dalších řídicích prvků,
- komfort řízení – pohodlné ovládání osvětlovací soustavy, ať už vzdáleně, nebo pomocí přednastavených časových plánů.

### 1.5.1 ANALOGOVÉ ŘÍZENÍ

Analogově řízené elektronické předřadníky jsou ovládány úrovní řídicího napětí v rozsahu (1 V do 10 V) na vstupu předřadníku. K ovládání předřadníku je použito dvou vodičového signálního vedení, avšak u analogového řízení dochází k úbytkům napětí na vedení a nemusí být nastaveny všechny elektrické předřadníky osvětlovací soustavy na stejnou úroveň. Tento způsob řízení se v současnosti již téměř nevyužívá (Sokánský, 2004).

Výhody analogového ovládání 1 V do 10 V (Sokánský, 2004):

- galvanické oddělení řídicího rozhraní,
- dvoudrátové vedení,
- rozsah stmívání je od 1 % do 100 % .

Nevýhody analogového ovládání 1 V do 10 V (Sokánský, 2004):

- chybí zpětné hlášení.
- jedná se o neadresovatelné zařízení.
- není možné vypínat jednotky pomocí rozhraní.
- přepínání a stmívání jsou dvě odlišné funkce.

### 1.5.2 DIGITÁLNÍ ŘÍZENÍ

V roce 1984 bylo vyvinut protokol DALI (Digital Addressable Lighting Interface) firmou Activity Group DALI, spadající pod Philips a v roce 1991 byl vyvinut protokol pro sériové řízení osvětlení v budovách DSI (Digital Serial Interface) firmou Tridonic. Tyto dva protokoly určené k digitálnímu řízení osvětlení nahradili analogové řízení osvětlení. Jejich výhodou oproti analogovému řízení je vyšší odolnost proti rušení a proti přepólování řídicího napětí. Rozhraní DALI má navíc možnost hlášení nefunkčního světelného zdroje a umožňuje uložit světelné scény do paměti přístroje, tudíž není zapotřebí další paměťový modul. Řízení probíhá po vedení a digitálním řízením je zajištěno nastavení všech stmívatelných předřadníků na stejnou úroveň (Sokánský, 2004).

### 1.5.3 DIGITÁLNÍ ŘÍZENÍ POMOCÍ ROZHRANÍ DSI

V DSI jsou převáděny signály obslužných zařízení (tlačítka, senzory apod.) na digitální data a přenášejí se k jednotlivým obslužným zařízením. Jelikož jsou jednotlivé předřadníky řízeny digitálně, je úroveň světelného toku od prvního do posledního předřadníku stejná. V digitálním systému stmívání jsou jednotlivé hodnoty řídicího signálu přiřazeny přednastavené hodnotě světelného toku. Odstupňování světelného toku je v souladu s logaritmickou křivkou citlivosti oka, což znamená že systém DSI respektuje vnímání lidského oka. Řízení stmívání je předdefinováno po 255 krocích (Sokánský, 2004).

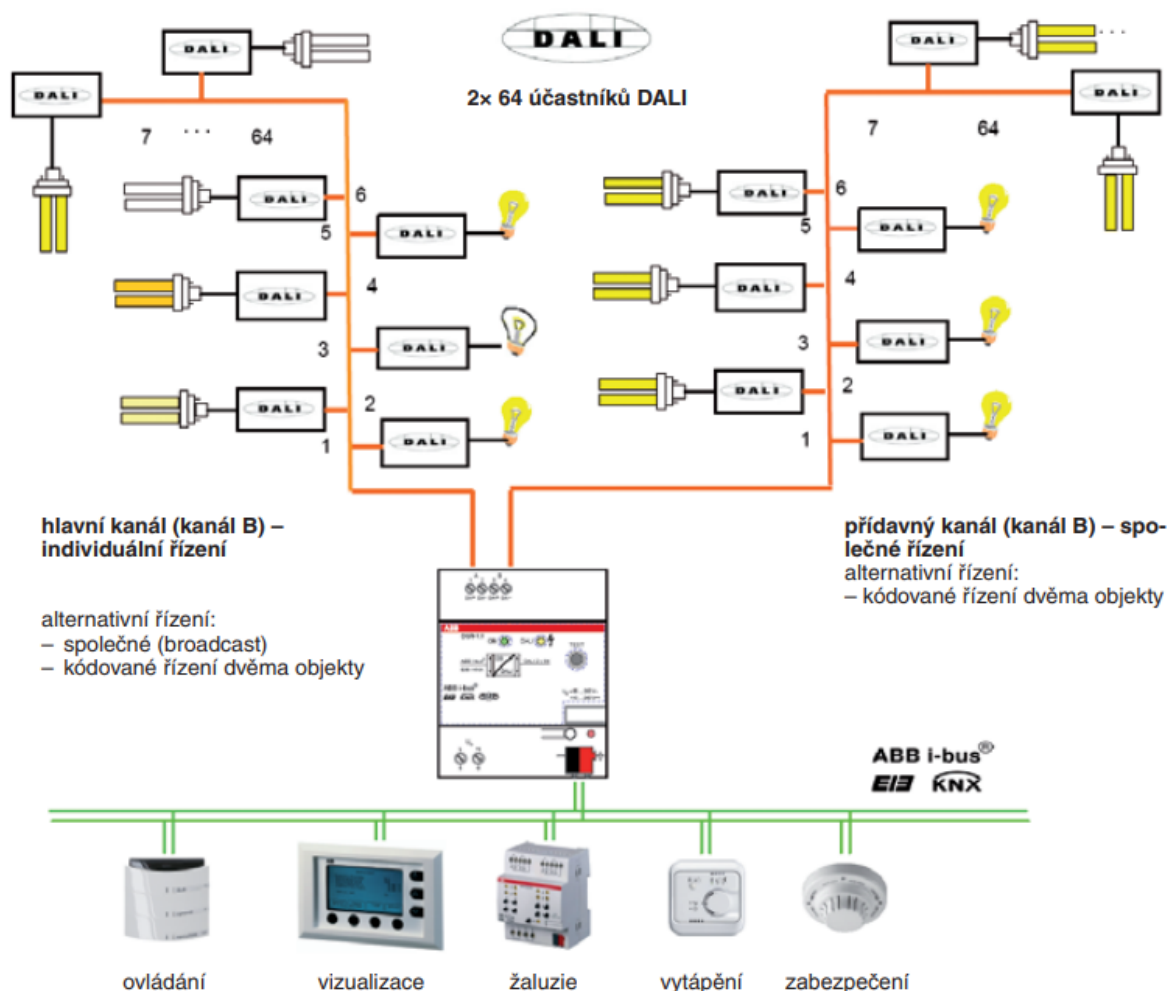
### 1.5.4 DIGITÁLNÍ ŘÍZENÍ POMOCÍ ROZHRANÍ DALI

Protokol DALI je sběrníkový systém, umožňující digitální komunikaci typu *master-slave* mezi všemi zúčastněnými komponenty v osvětlovacím systému nebo v celých systémech správy budov. *Master* zasílá příkazy zařízení *slave* a může komunikovat s jinými *master* zařízeními. Komunikace

mezi *master-slave* zařízeními probíhá pomocí 2-bitových zpráv a mezi *master-master* pomocí 3-bitových zpráv. Maximální počet *master* i *slave* zařízení v jedné DALI síti je 64 *master* + 64 *slave* zařízení. Systém DALI je možné integrovat jako subsystém do nadřazeného systému správy budovy (Sokánský, 2004; Kunc, 2007).

Protokol DALI definuje příkazy a dotazy, na které daný předřadník zasílá požadované odpovědi. Příkaz je tvořen 19 bity, první bit je aktivační, pak následuje 8 bitů (1 byte) pro adresaci, dalších 8 bitů (1 byte) obsahujících příkaz nebo data a dva stop bity. Z osmi adresních bitů pouze šest definuje adresu konkrétního prvku, je zde totiž možnost vysílat všem prvkům nebo jen určené skupině. Pomocí šesti bitů jsme tedy schopni adresovat maximálně 64 prvků systému. Je přednastaveno více než 100 DALI příkazů (Sokánský, 2003).

Datovou sběrnici propojující všechny prvky osvětlovací soustavy tvoří dva vodiče. Zapojení prvků může být libovolnou kombinací větvené a hvězdicové soustavy, ale není povoleno kruhové uspořádání soustavy. Data jsou po sběrnici přenášena přenosovou rychlostí 1200 bitů za sekundu s kódováním typu Manchester. Na polaritě vodičů nezáleží (Sokánský, 2003).



Obr. 1.16 - Řízení osvětlení s předřadníky DALI (Kunc, 2007)

Rozhraní DALI umožňuje (Sokánský, 2004).

- galvanické oddělení řídicího rozhraní,
- dvoudrátové vedení s rozsahem stmívání  $0,1 \% \div 100 \%$
- zpětné hlášení provozního stavu,
- skupinové, individuální a vysílací adresy,
- paměť na uložení scén,
- programovatelný průběh stmívání,
- napojení na systém správy budov pomocí konvektorů,
- snadná nová konfigurace systému,
- snadná integrace nových komponentů.

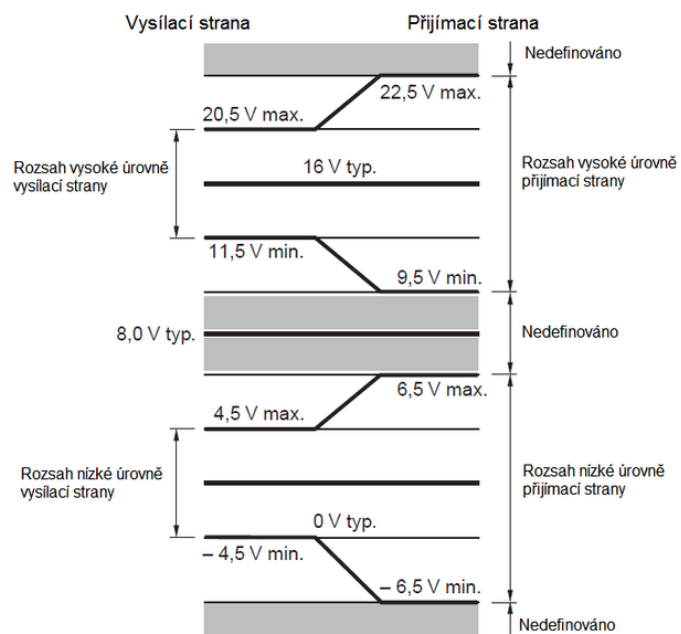
DALI je mezinárodní norma, zaručující vzájemnou kompatibilitu řízených stmívatelných předřadníků od různých výrobců a určuje vzájemnou digitální komunikaci mezi jednotlivými prvky osvětlovací soustavy. Jsou zde určeny parametry přenosu a vymezeny příkazy pro řízené prvky a jejich odpovědi včetně definice datové struktury. Každý prvek je možné řídit individuálně, protože má svoji předepsanou adresu. Řízené prvky jsou rozděleny podle níže uvedených typů (Sokánský, 2004):

- Typ 0 - digitální předřadníky pro lineární nebo kompaktní zářivky,
- Typ 1 - veškerá zařízení nouzového osvětlení,
- Typ 2 - prvky s vysokotlakými výbojkovými zdroji,
- Typ 3 - řízené digitální transformátory pro nízkonapěťové halogenové zdroje,
- Typ 4 - fázové měniče pro klasické a halogenové žárovky,
- Typ 5 - prvky s analogovým výstupem  $1 \text{ V} \div 10 \text{ V}$ ,
- Typ 6-255 - rezerva pro další vyvíjené prvky, již dnes jsou k dispozici DALI řadiče pro LED diody, standardně většina výrobců dodává reléové moduly atd.

Systém DALI byl navržen pro (Sokánský, 2004):

- max. 64 individuálních jednotek (individuálních adres),
- max. 16 skupin (skupinových adres),
- max. 16 scén (světelných hodnot scén).

DALI sběrnice zároveň napájí všechny prvky v systému a celkový příkon prvků zapojených na DALI sběrnici nesmí překročit 250 mA. Maximální délka sběrnice nesmí překročit 300 m nebo na sběrnici nesmí napětí klesnout o 2 V. Logická nula byla definována napětím rozhraní 0 V ( $-6,5 \text{ V} \div +6,5 \text{ V}$ ) na straně přijímače. Logická jednička je představována napětím rozhraní 16 V ( $9,5 \text{ V} \div 22,5 \text{ V}$ ) na straně přijímače. Mezi vysílačem a přijímačem je přípustný maximální pokles napětí 2 V, viz obr. 1.18 (Sokánský, 2003).



Obr. 1.17 - Jmenovité hodnoty napětí DALI sběrnice (Vidim, 2017)



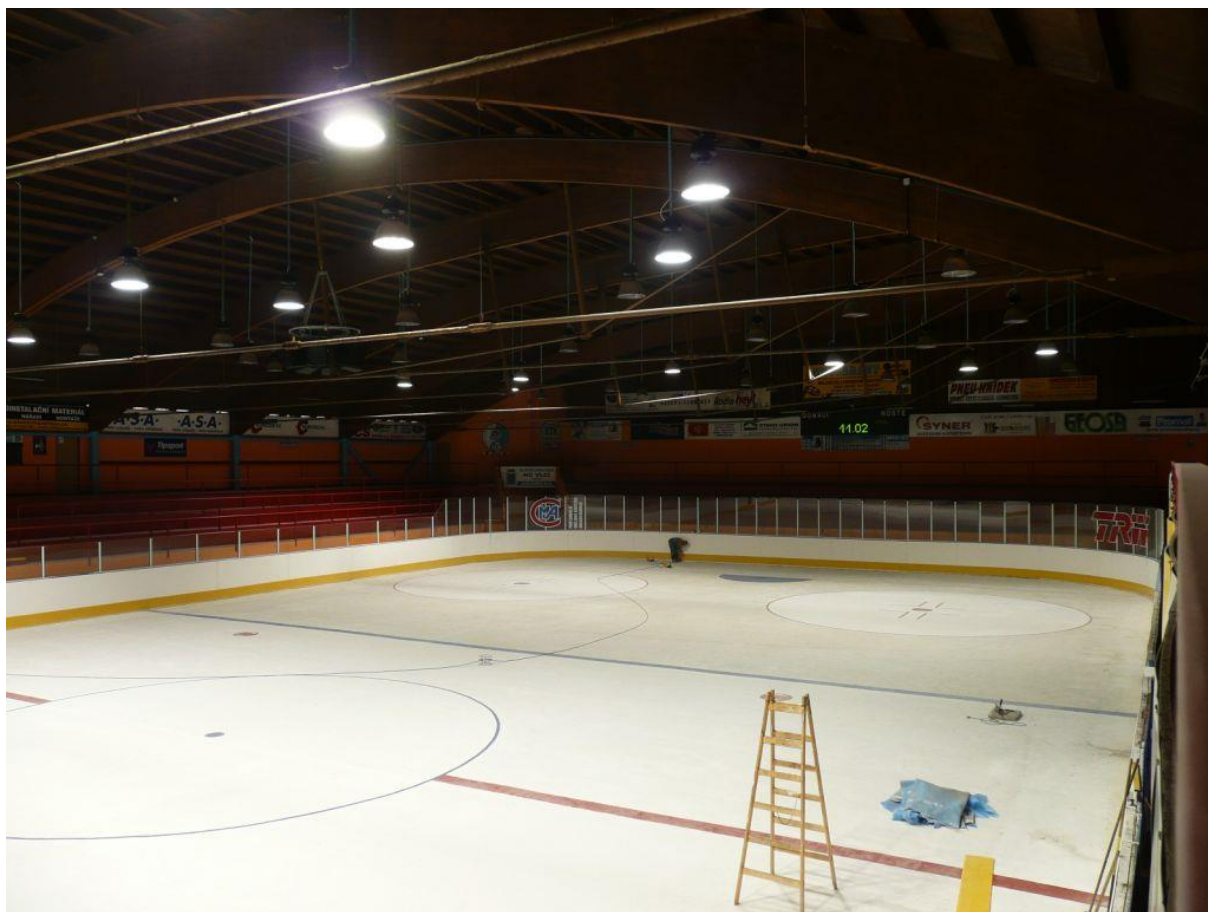
## 2 STÁVAJÍCÍ STAV OSVĚTLENÍ

Obsahem praktické části diplomové práce je návrh osvětlovací soustavy hokejové haly. Práce zahrnuje ověření stávajícího stavu osvětlení a elektroinstalace hokejové haly.

### 2.1 POPIS OBJEKTU

Stávající osvětlení hokejové plochy o rozměrech 58 m x 26 m, je řešeno 68 ks závěsných svítidel s halogenovými výbojkami o příkonu 400 W a předradníkem 78 W. Svítidla jsou umístěna v 7 řadách po 9 svítidlech a 5 svítidly nad kruhy pro buhy, ve výšce 7 m. Stávající elektroinstalace k svítidlům je řešena 3x kabelem CYKY 5C2,5 do rozdělovacích krabic a z nich vedou kabely CYKY 3C2,5 do jednotlivých řad svítidel.

V objektu hokejového stadionu každoročně probíhá II. liga českého hokeje, což je třetí nejvyšší hokejová soutěž v ČR. Osvětlení pro tuto ligu lze zařadit dle normy ČSN EN 12193 do II. třídy osvětlení s požadovanou udržovanou osvětleností  $E_m = 500 \text{ lx}$  a rovnoměrností osvětlení  $U_{2\text{hor}} \geq 0,7$ . Na stadionu není pořizován kamerový záznam utkání, proto nejsou zvýšené požadavky na osvětlení.



Obr. 2.1 - Stávající osvětlení hokejového stadionu (Foto autor)

## 2.2 PROVOZNÍ REŽIM

Stadion je osvětlován ve dvou provozních režimech. Režim 1 - liga, na který se osvětluje v případě ligových zápasů, kdy svítí všech 68 ks svítidel a režim 2 – běžné svícení, kdy svítí 31 ks svítidel, které svítí v případě veřejného bruslení, tréninků, vyučování škol apod.

Hokejový stadion je v provozu v měsících od srpna do dubna. Od druhé poloviny dubna do července je zavřený. V režimu na běžné svícení je stadion osvětlován cca 3045 hodin ročně, svítí 31 ks svítidel. V režimu svícení na ligové zápasy je stadion osvětlován cca 600 hodin ročně, svítí všech 68 ks svítidel. Na obr. 2.1 lze vidět stávající osvětlení řešené závěsnými lampami s halogenovými výbojkami.

## 2.3 MĚŘENÍ STÁVAJÍCÍ INTENZITY OSVĚTLENÍ

Síť kontrolních bodů pro výpočet a měření osvětlení u hokejového hřiště o standardizovaných rozměrech 60 x 30 m by měla být dle tabulky 2.1, 17 x 9 bodů. Uvažované hřiště má kanadské parametry, tudíž jeho rozměry jsou 58 x 26 m. Síť kontrolních bodů pro výpočet a měření se určí pomocí vzorce (2.1)

$$p = 0,2 \cdot 5^{\log d} = 0,2 \cdot 5^{\log 58} = 3,42 \quad (2.1)$$

kde  $p$  - je rozměr sítě,  
 $d$  - je větší rozměr srovnávací plochy.

Ze vzorce výše vyplývá, že by síť kontrolních bodů měla mít na délku minimálně  $58 / 3,42 = 16,95$  bodů a na šířku  $26 / 3,42 = 7,60$  bodů, což bylo při měření splněno.

Tabulka 2.1 - Hodnoty osvětlenosti určené ČSN EN 12193 (ČSN EN 12193, 2019)

Uvnitř				
Lední hokej <sup>c</sup>				
Třída	Vodorovná osvětlenost			
	$E_m$ (lx)	$U_{2hor}$	$R_a$	$R_g^d$
I	750	0,7	80	35
II	500	0,7	60	40
III	300	0,7	60	40
Srovnávací plocha		Počet bodů sítě		
délka (m)	šířka (m)	délka	šířka	
60	30	17	9	
<sup>c</sup> - Pro montážní výšky pod 8 m má být podíl $E_{min}/E_{max}$ větší než 0,5. Pro třídu III může být rovnoměrnost snížena na 0,5.				
<sup>d</sup> - $R_g$ se aplikuje pouze pro montážní výšky nad 10m				
$U_{2hor} = E_{min}/E_m$				



Obr. 2.2 - Digitální luxmetr Testo 545 (Luxmetr Testo 545, 2019)

Měření se provádí dle norem ČSN 36 0011-3 Měření umělého osvětlení a ČSN 336 0011-1 Měření osvětlení. Měření probíhá ve výšce 0,85 m od podlahy.

K měření intenzity osvětlení jsem použil digitální luxmetr Testo 545, skládající se z dvou částí, fotometrické hlavy a záznamového zařízení. Fotometrická hlava je vybavena filtrem spektrální citlivosti zajišťujícím, spektrální citlivost sondy shodnou s lidským okem.

Minimální osvětlenost pro II. třídu je dle normy 500 lx pro regionální a místní soutěže. Na obr. 2.3 lze pozorovat, že osvětlení vyhovuje pouze v některých bodech kolem středu hřiště. Avšak v okrajových částech absolutně nevyhovuje, protože v některých místech má jen poloviční osvětlenost, než určuje norma. Osvětlovací soustava nad hrací plochou dosahuje průměrné osvětlenosti 431,1 lx při svícení v režimu 1. Pro režim 1 nevyhovuje osvětlovací soustava také z hlediska horizontální rovnoměrnosti osvětlení kdy musí být poměr mezi minimální a průměrnou osvětleností vyšší než 0,7. V tomto případě vychází horizontální rovnoměrnost osvětlení dle vzorce (2.2)

$$U_{2hor} = \frac{E_{min}}{E_m} = \frac{249}{431,1} = 0,58, \quad (2.2)$$

což nevyhovuje normě ČSN EN 12193.

**Měření osvětlení** v objektu: Zimní stadion

Měřená zóna: Ledová plocha zimní stadion - režim 1 - liga

**1. Měření osvětlenosti**

Datum a hodina : 11.4.2018


Měřicí přístroj : Luxmetr Testo 545

Celkový počet svítidel : 68ks výbojka 400W + předřadník 78W

Příkon svítidla : 478 W

Příkon zóny : 32,5 kW

Přítomní : Lukáš Hála, Ondřej Skála



ENESA  
úspory energie se zárukou

255	330	379	380	390	395	398	401	398	395	393	390	387	382	377	327	252
274	370	397	436	446	451	454	457	459	450	448	445	442	437	395	368	275
372	417	442	483	495	499	501	505	507	501	499	496	493	488	426	398	358
375	423	467	485	497	501	503	507	509	503	501	498	495	492	487	425	362
380	446	461	487	498	503	507	509	512	494	492	489	486	495	503	453	378
369	423	459	491	501	505	503	508	507	493	491	488	485	486	481	421	356
361	389	453	486	496	500	501	503	504	488	486	483	480	475	398	388	345
287	362	378	430	440	445	448	451	453	440	438	435	432	427	381	352	273
250	327	360	375	385	390	393	396	398	392	390	387	384	379	374	324	249

Průměrná osvětlenost  $E_m$  :

**431,1 lx**

Rovnoměrnost osvětlení  $U_{2hor}$ :

**0,486**

Obr. 2.3 - Měření hodnoty osvětlení stávajících svítidel v režimu 1 (vlastník autor)

Měření osvětlenosti pro režim 2, kdy byla osvětlenost změřena ve stejných bodech jako v režimu 1 dosahuje průměrné osvětlenosti 292,3 lx, což také nevyhovuje normativním požadavkům 300 lx. Pro režim 2 nevyhovuje osvětlovací soustava také z hlediska horizontální rovnoměrnosti osvětlení kdy musí být poměr mezi minimální a průměrnou osvětleností vyšší než 0,7. V tomto případě vychází horizontální rovnoměrnost osvětlení dle vzorce (2.3)

$$U_{2hor} = \frac{E_{min}}{E_m} = \frac{169}{292,3} = 0,58, \quad (2.3)$$

což nevyhovuje normě ČSN EN 12193.

Na obr. 2.4 lze vidět, že osvětlenost normě vyhovuje v bodech ve středu hřiště, ale v okrajových částech je opět nedostatečná. Osvětlení je v obou případech nedostatečné z důvodu nerovnoměrnosti osvětlení, kdy jsou mezi jednotlivými místy na hrací ploše velké rozdíly v osvětlenosti, což může způsobovat zrakovou nepohodu a zvýšit namáhání očí.

## Měření osvětlení v objektu: Zimní stadion

Měřená zóna: Ledová plocha zimní stadion - režim 2 - běžné svícení

### 1. Měření osvětlenosti

Datum a hodina : 11.4.2018

Měřicí přístroj : Luxmetr Testo 545

Celkový počet svítidel : 31ks výbojka 400W + předřadník 78W

Příkon svítidla : 478 W

Příkon zóny : 14,8 kW

Přítomní : Lukáš Hála, Ondřej Skála

172	224	257	258	264	268	270	272	270	268	266	264	262	259	256	222	171
185	251	269	296	302	306	308	310	311	305	304	302	300	296	268	250	186
252	283	300	327	336	338	340	342	344	340	338	336	334	331	289	270	243
254	287	317	329	337	340	341	344	345	341	340	338	336	334	330	288	245
257	302	313	330	338	341	344	345	347	335	334	332	330	336	341	307	256
250	287	311	333	340	342	341	344	344	334	333	331	329	330	326	285	241
244	264	307	330	336	339	340	341	342	331	330	327	325	322	270	263	234
194	245	256	292	298	302	304	306	307	298	297	295	293	290	258	239	185
169	221	244	254	261	264	266	268	270	266	264	262	260	257	254	220	169

Průměrná osvětlenost  $E_m$ : 292,3 lx      Rovnoměrnost osvětlení  $U_{2,hor}$ : 0,487

Obr. 2.4 - Měření hodnoty osvětlení stávajících svítidel v režimu 2 (vlastní autor)

Osvětlovací soustava používá zastaralý předřadný systém, který vyžaduje použití tlumivky. Ztrátový výkon tlumivek při počtu 68 ks svítidel není zanedbatelný a činí 19,5 % celkové spotřeby svítidla. Předřadníky všech svítidel činí ztrátový výkon asi 5,3 kW z celkového příkonu 32,5 kW.

Stávající osvětlení nedosahuje minimální vodorovné osvětlenosti pro II. třídu 500 lx, a horizontální rovnoměrnost osvětlení 0,7, jak požaduje norma ČSN EN 12193, viz tabulka A.1. K měření intenzity osvětlení byl použit digitální luxmetr Testo 545.

Z výše uvedených nedostatků je vhodným řešením nahradit stávající soustavu 68 ks svítidel s halogenidovými výbojkami novými LED svítidly s předřadníkem DALI, pro možnost řízení osvětlení. Nahrazena bude také stávající elektroinstalace vzhledem k jejímu staří rozdílného umístění svítidel.

### 3 SVĚTELNĚ TECHNICKÝ NÁVRH

Při vypracování světelně – technického návrhu je důležité stanovení požadavků, na jejichž základě bude vytvořen návrh osvětlení, systém řízení a výběr konkrétních komponent.

#### 3.1 POŽADAVKY NA OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVU

U požadavků na návrh osvětlovací soustavy je v této době kladen důraz na nízké provozní náklady, dosažení požadované osvětlenosti a rovnoměrnosti osvětlení normou ČSN EN 12193. Toho lze dosáhnout těmito způsoby:

- světelný zdroj s vysokou účinností a dobou života,
- řízení svítidel po sběrnici DALI a jejich stmívání / rozsvěcení,
- snížení příkonu soustavy se zachováním žádané průměrné osvětlenosti min. 500 lx,
- určení plánu údržby osvětlovací soustavy pro zajištění její funkčnosti,
- vizualizace osvětlovací soustavy s možným nastavením úrovně osvětlení.

V současné době je reálné splnit všechny body výše, bez enormních investičních nákladů s reálnou dobou návratnosti investice.

#### 3.2 NÁVRH OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Nový návrh osvětlení hokejové haly je projektován na průměrné osvětlení 500 lx, což dle ČSN EN 12193, odpovídá II. třídě osvětlení. Stadion totiž nevyhovuje požadavkům pravidel českého hokeje pro vyšší než 2. ligu, tudíž ho nelze zařadit do třídy osvětlení I. Osvětlovací soustava však musí být naddimenzována s ohledem na udržovací činitel  $MF$ , který byl stanoven výpočtem dle vzorce (3.1) a činí  $MF = 0,67$ . Soustava musí být dle vzorce (3.2) naddimenzována s průměrnou osvětleností osvětlovací soustavy v novém stavu  $\bar{E}_0$  na hodnotu minimálně 746 lx.

$$\bar{E}_0 = \frac{\bar{E}_m}{MF} = \frac{500}{0,67} = 746 \text{ lx} . \quad (3.1)$$

Činitel údržby pro LED osvětlení:

$LLMF = 0,93$  – činitel stárnutí světelných zdrojů,

$LSF = 1$  – činitel funkční spolehlivosti světelných zdrojů,

$LMF = 0,77$  – udržovací činitel svítidel,

$RSMF = 0,94$  – udržovací činitel povrchů,

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF = 0,93 \cdot 1 \cdot 0,77 \cdot 0,94 = 0,67 . \quad (3.2)$$

Interval údržby pro svítidlo byl zvolen 1 ročně. Pro místnost je tento interval zvolen na 3 roky.

Návod pro posouzení udržovacího činitele a stanovení intervalů údržby popisuje směrnice TNI 36 0451 – Údržba vnitřních osvětlovacích soustav. Stanovení udržovacího činitele je velmi důležité z hlediska návrhu osvětlovací soustavy, jejího příkonu či dalších světelně - technických parametrů.

Při porovnání různých způsobů osvětlení, ať už zářivkami, výbojkami nebo LED osvětlením jsem došel k závěru, že LED osvětlení je nejvhodnější, protože svými kladnými vlastnostmi předčí ostatní způsoby osvětlení, jak je již popsáno v teoretické části práce u elektro – luminiscenčních

světlených zdrojů. Největší výhodou je dlouhý život svítidla, nízká spotřeba elektrické energie, vysoká účinnost a možnost řízení svítidla po sběrnici DALI a jeho stmívání.

Pro osvětlení hokejového stadionu jsem vybral LED svítidlo TOLEDA 3G od firmy LEDEX. Tento světelný zdroj je vhodný pro osvětlení sportovišť díky jeho nízké míře oslnění a mechanické pevnosti IK09. Krytí svítidla je IP65, tudíž je prachotěsný a odolný proti tryskající vodě. Difuzor je typu PMMA mléčný (opal). Níže jsou vypsány další světelně – technické parametry:

- příkon svítidla: 168 W,
- světelný tok zdroje: 35 900 lm,
- světelná účinnost  $\eta$ : 94 %,
- účinnost svítidla: 201 lm / W,
- teplota chromatičnosti: 5000 K,
- index podání barev  $R_a$ : > 80,
- život svítidla: L70B20 @ 50 000 h,
- rozsah pracovních teplot: - 40 °C až + 55 °C,
- rozměr svítidla: 1700 x 140 x 135 mm,
- předřadník: DALI,
- montáž: zavěšení, přísazení.

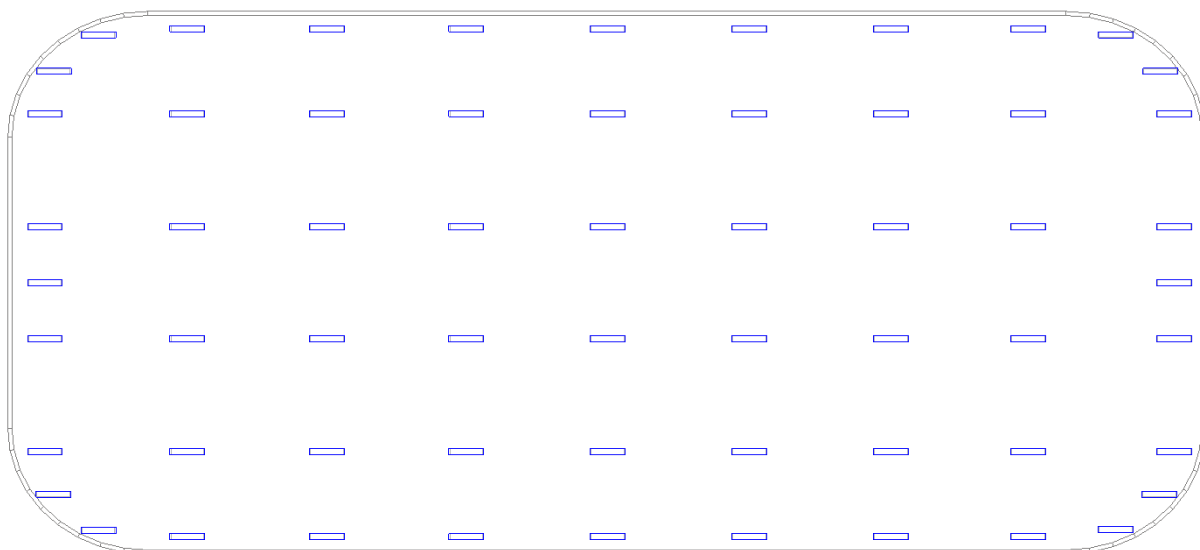


Obr. 3.1 - LED svítidlo TOLEDA 3G s křivkou svítivosti (Toleda 3G, 2018)

### 3.3 VÝPOČET OSVĚTLENÍ

Vlastní světelně – technický výpočet a návrh osvětlení jsem provedl v programu DIALux, který je k dispozici zdarma a slouží pro návrh, výpočet osvětlení a vizualizaci prostorů. K výpočtu byla použita verze DIALux 4.13. Podrobné výsledky výpočtu jsou obsahem přílohy B-4.

Umístění svítidel je zobrazeno na obr. 3.2, v počtu 60 ks svítidla TOLEDA 3G. Svítidlo má příkon  $P = 168$  W, což dělá celkový příkon soustavy  $P_C = 10\,800$  W.



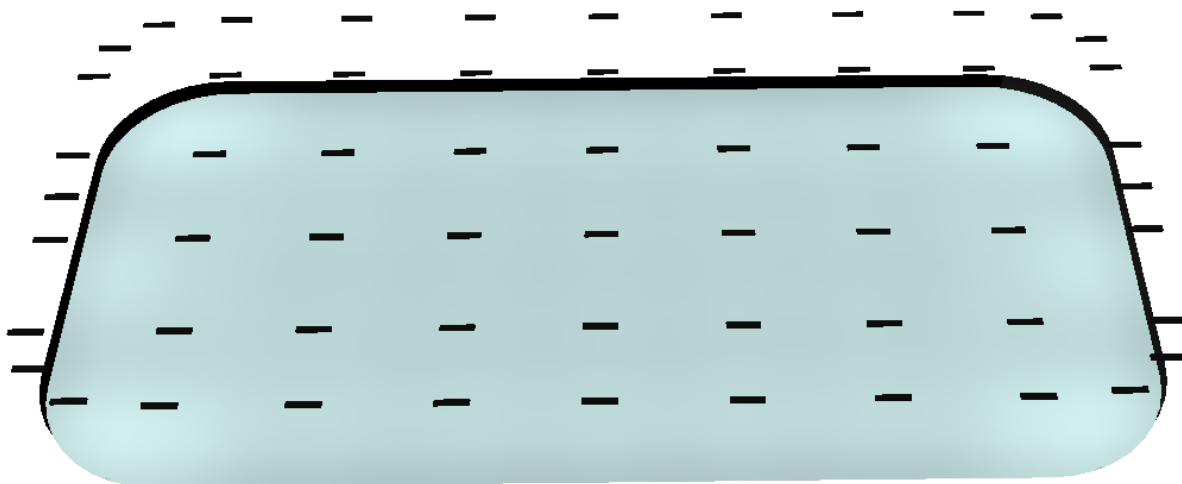
Obr. 3.2 - Rozmístění svítidel nad plochou kluziště (

Tabulka 3.1 - Základní parametry nově navržené osvětlovací soustavy

Výpočtová plocha	Počet svítidel	Příkon svítidel $P_C$ [W]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{max}$ [-]	$R_a$ [-]	$T_c$ [K]
Kluziště	60	10800	794	665	1153	0,824	< 80	5000

V tabulce 3.1 jsou shrnuty základní parametry nově navržené osvětlovací soustavy, z nichž vyplývá, že nově navržená soustava splňuje všechny parametry stanovené normou ČSN EN 12193.

Na obr. 3.3 je 3D vizualizace kluziště s novou osvětlovací soustavou. Osvětlovací soustavu tvoří 9 řad svítidel, kde první a devátá řada obsahuje 9 ks svítidel a zbylé řady obsahují po 6 ks svítidel. Důvodem pro přidání svítidel do rohů kluziště a za bránami je eliminace tmavých míst a zvýšení rovnoměrnosti osvětlení.

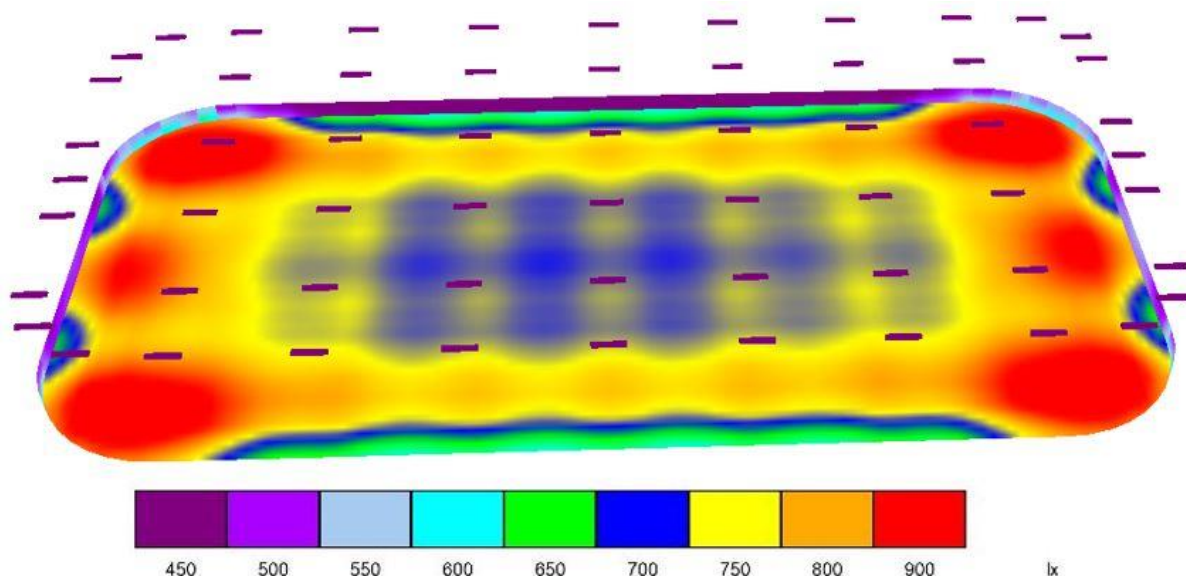


Obr. 3.3 - 3D vizualizace kluziště s rozmístěním svítidel (vlastník autor)

Obr. 3.4 znázorňuje kluziště vyobrazené v tzv. nepravých barvách, které ukazují hodnoty osvětlení v různých částech kluziště. V rozích kluziště si lze všimnout, že jsou oproti ostatním částem



kluziště přesvětlené, což nevadí, protože jednotlivá svítidla budou řízena po sběrnici DALI a budou nastaveny tak, aby kluziště bylo osvětleno s co nejvyšší rovnoměrností osvětlení.



Obr. 3.4 - Znáznornění osvětlení kluziště v nepravých barvách (vlastní autor)

Samotné nastavení jednotlivých svítidel může být provedeno dvěma způsoby. Manuálně, kdy se bude měřit intenzita osvětlení v 17 x 9 bodech a nastavovat výkon na který budou jednotlivá svítidla svítit, nebo automaticky pomocí senzorů osvětlení, které měří hodnotu osvětlení a regulují přes sběrnici DALI jednotlivá svítidla.

Výhoda manuálního nastavení je, že je rovnoměrnost osvětlení vyšší, protože se osvětlení měří v jednotlivých bodech. Zato pomocí senzorů osvětlení není nastavení tak pracné, ale rovnoměrnost osvětlení nebude tak dobrá, jako u manuálního nastavení.



## 4 PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

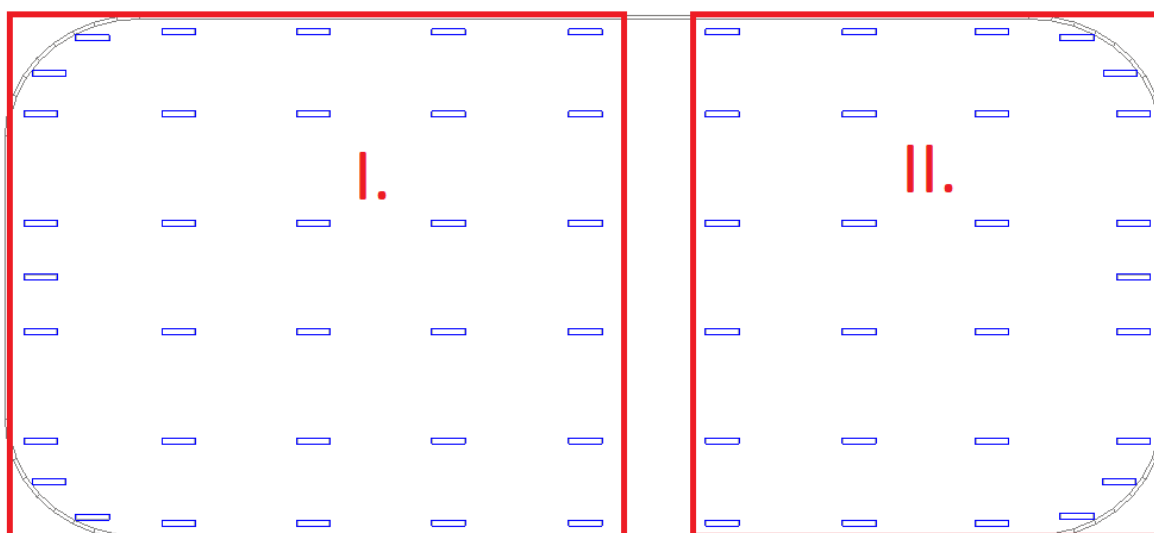
Projektovou dokumentaci jsem vypracoval v souladu s platnými normami ČSN a z dostupných podkladů, jako byl půdorys, informace o osvětlovací soustavě a dobách svícení.

### 4.1 ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Nově navržená osvětlovací soustava bude řízena pomocí systému DALI ve čtyřech scénách:

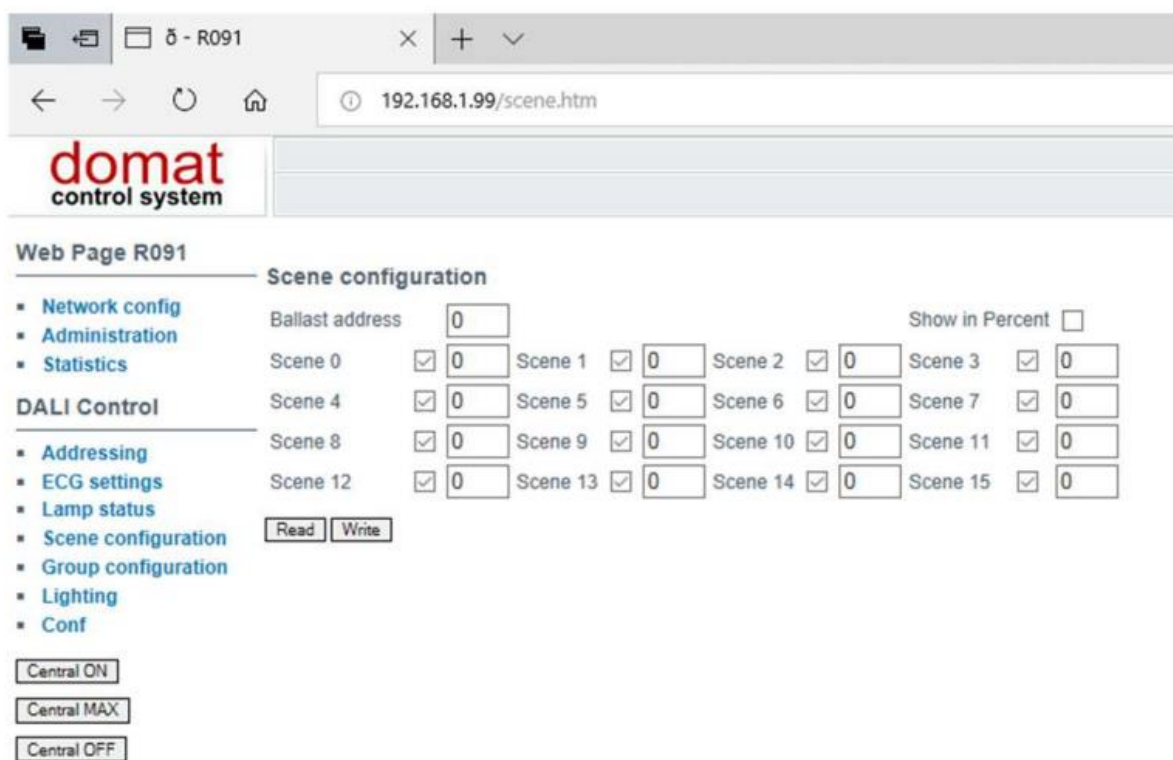
- liga – osvětlení 500 lx,
- trénink – osvětlení 300 lx,
- veřejné bruslení – osvětlení 200 lx
- údržba – osvětlení 150 lx.

Kvůli délce DALI sběrnice vyšší než 300 m, musí být osvětlovací soustava rozdělena na dva okruhy, které jsou znázorněny na obr. 4.1.



Obr. 4.1 - Rozdělení osvětlovací soustavy do dvou částí (vlastní autor)

Všechna svítidla v jednom okruhu budou ovládána jako jedna skupina, aby se zamezilo efektu „mexické vlny“, kdy se svítidla rozsvěcí, nebo zhasínají jednotlivě s časovým odstupem. Přiřazení svítidel do skupiny se provádí ve webovském prostředí převodníku R091. V tomto prostředí se také nastavují předřadníkům různé typy scén osvětlení, kde je možné nastavit 16 scén viz obr. 4.2. Intenzita osvětlení se zde nastavuje v hodnotách 0 ÷ 255, kde maximální osvětlenost je 254, takže je nutné přepočítat hodnoty osvětlení, nebo přepnout zaškrtnutím tlačítkem „Show in Percent“ na zobrazení osvětlenosti v procentech.



Obr. 4.2 - Nastavení scén jednotlivým předřadníkům (*Převodník Modbus TCP/DALI*, 2018)

Nastavení scén jednotlivých předřadníků probíhá také přes webový portál převodníku R091:

Ballast adress – zde se zadává adresa předřadníku, který se má nastavovat.

Read – načte aktuální nastavení scén z předřadníku.

(u scén) žaskrtávátko – scéna je definována.

Číslo – intenzita pro tuto scénu (v intervalu 0 ÷ 255).

Show in percent – intenzita osvětlení se zobrazuje v procentech logaritmické stupnice, což lépe odpovídá vnímání lidského oka.

Write – nastavení se uloží do předřadníku.

#### 4.1.1 KOMPONENTY ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Nadřazený řídicí systém pro řízení osvětlení a vizualizaci, je použit DDC (Direct Digital Control) regulátor MARK 320 od firmy Domat. Tento regulátor obsahuje webový server pro vzdálený přístup, z něhož je možné osvětlovací soustavu ovládat. Na místě lze regulátor ovládat pomocí šesti podsvícených tlačítek a LCD displeje o 3 x 16 znacích. Regulátor se instaluje na DIN lištu o standartních rozměrech a jeho šířka je 105 mm, nebo pomocí markPLC kitu do dveří rozvaděče (DDC regulátory mark320, mark220, 2017)

Aplikace pro regulátor MARK 320 se vytváří a nahrává skrze vývojové prostředí Merbon IDE, pomocí jazyka FUPLA (funkční bloky) či ST (strukturovaný text). Webové stránky či konfigurace menu se vytváří v Merbon HMI editoru, což je aplikace, která je součástí balíku vývojových programů. Nahrání definice webu se následně provádí pomocí Merbon IDE. Pro ovládání osvětlení je také možné vytvořenou vizualizaci nahrát do mobilní aplikace Merbon Visual a ovládat osvětlení pomocí tabletu či telefonu připojeného do internetu (DDC regulátory mark320, mark220, 2017)



Obr. 4.3 - DDC regulátor MARK 320 firmy Domat (*DDC regulátory mark320, mark220, 2017*)

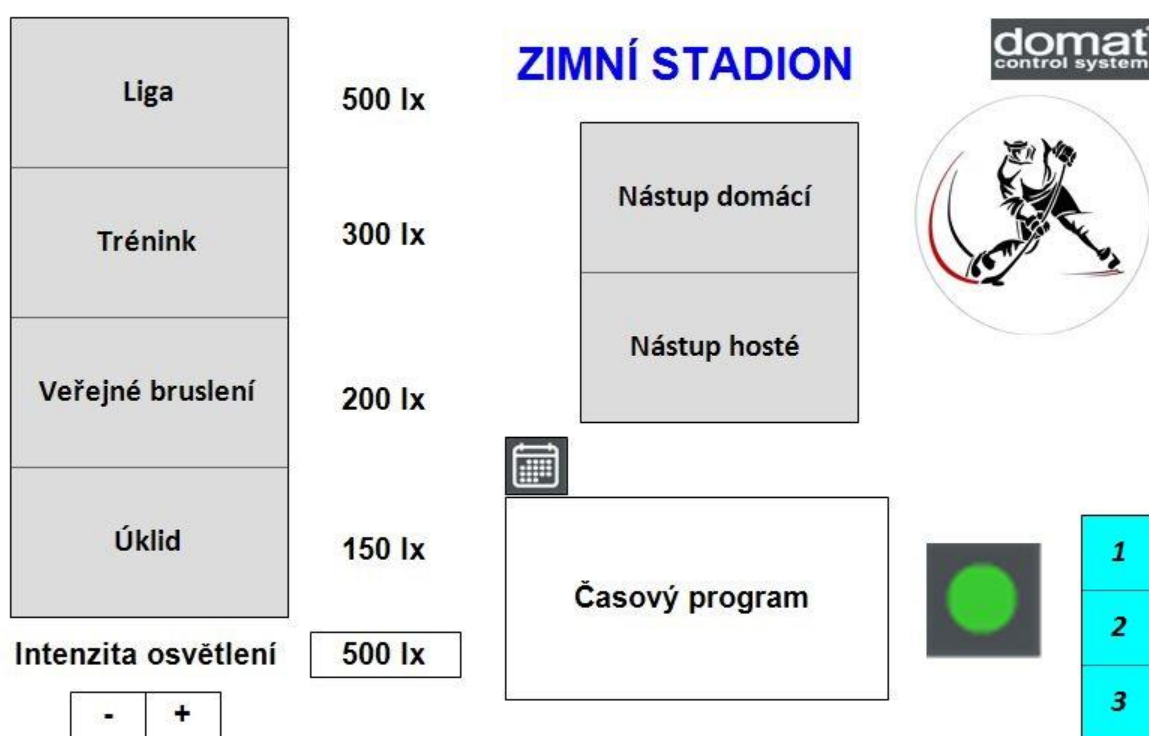
Nadřazený DDC regulátor bude se světelnými okruhy komunikovat přes převodník R091 Modbus TCP / DALI. Převodník R091 je sériový převodník, který pracuje jako Modbus TCP server a řídí sběrnici DALI, která může obsahovat až 64 předřadníků DALI. Pomocí R091 lze konfigurovat a řídit sběrnici dali pomocí webového rozhraní i na dálku. Každý ze světelných okruhů bude mít vlastní převodník R091.



Obr. 4.4 - Převodník R091 TCP / DALI (*Převodník Modbus TCP/DALI, 2018*)

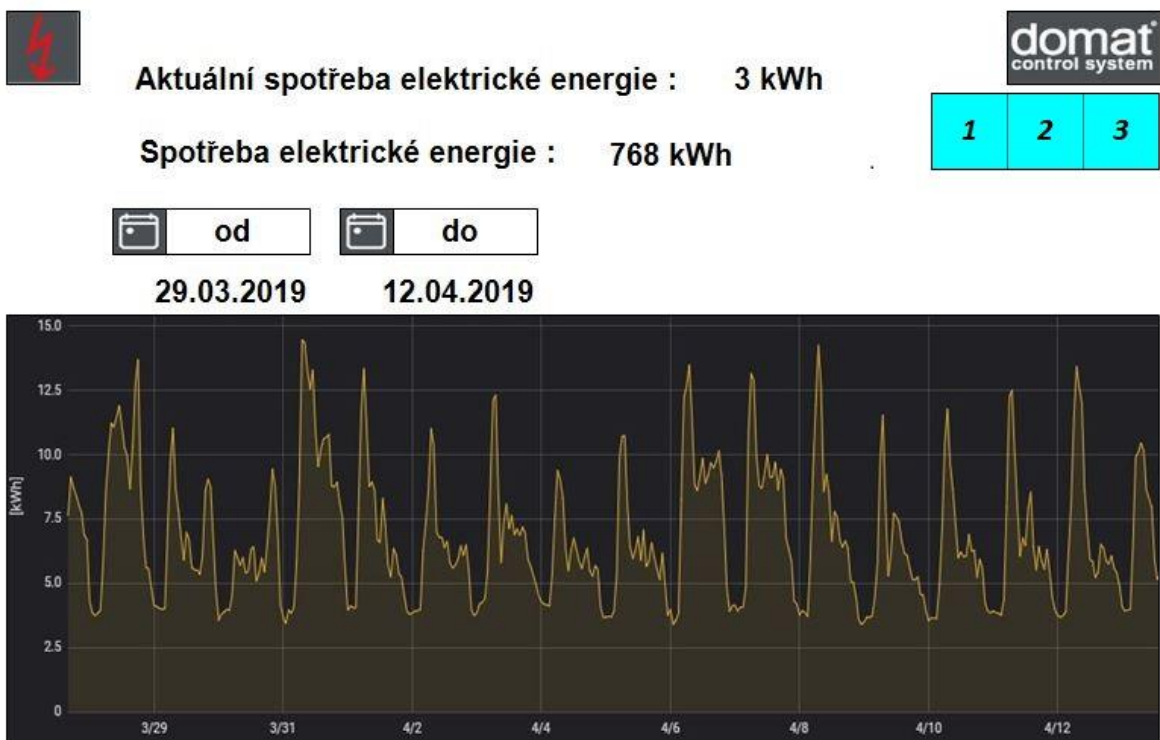
## 4.2 VIZUALIZACE ŘÍZENÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Vizualizaci řízení osvětlovací soustavy jsem vypracoval v programu Merbon IDE od firmy Domat. Přes tuto vizualizaci je možné prohlížet a ovládat osvětlení hokejového stadionu, a to přes webovský prohlížeč v dispečerském počítači, nebo pomocí mobilní aplikace Merbon Visual pro Android nebo iOS, v tabletu či chytrém mobilním telefonu. Vizualizace obsahuje tři okna, mezi kterými jde přepínat bledě modrým tlačítkem v rohu vizualizace. V prvním okně je možné řídit intenzitu osvětlení zakliknutím jednotlivých scén jako jsou: liga, trénink, veřejné bruslení či úklid, vedle kterých je informativní číselný popis, o jakou intenzitu osvětlení se jedná. Dále lze řídit osvětlení podle časového programu, nebo spouštět světelné scény pro nástup domácích či hostů a je také možné nastavovat tlačítka „+“ a „-“ intenzitu osvětlení po hodnotě 5 lx do maximální hodnoty intenzity osvětlení 790 lx. Tato okna je na obr. 4.5.



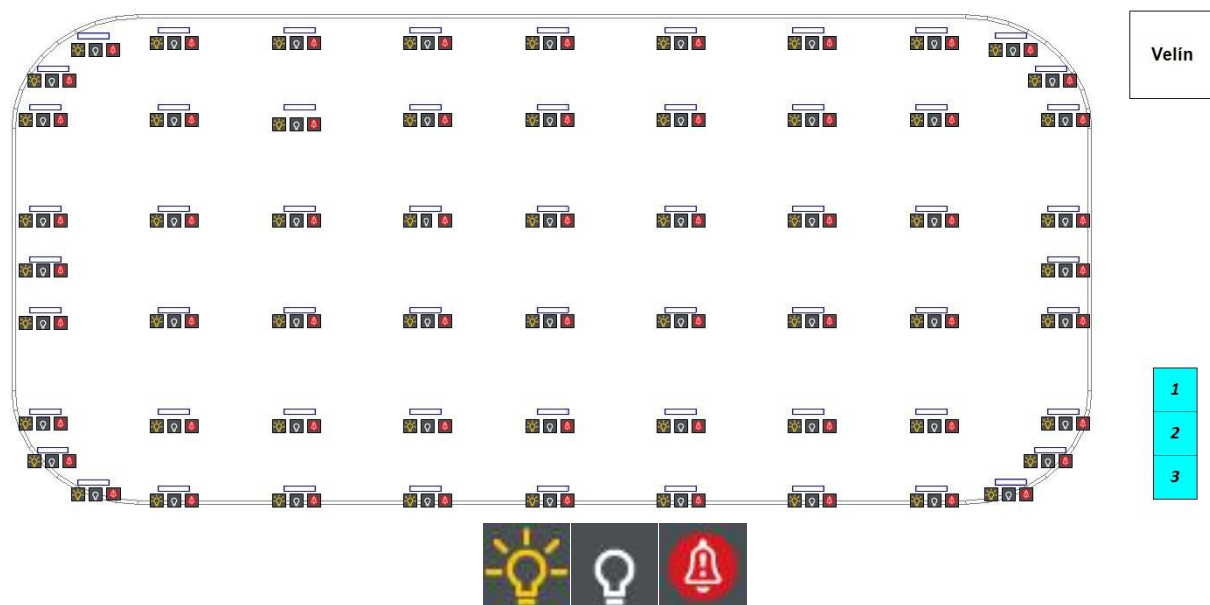
Obr. 4.5 – Vizualizace nastavení osvětlení (vlastní autor)

Druhé okno vizualizace (obr. 4.6) poskytuje informace o spotřebách elektrické energie. Lze v něm prohlížet aktuální spotřebu elektrické energie nebo zobrazit spotřebu elektrické energie za určitý časový úsek. Tento časový úsek je také zobrazen v grafu.



Obr. 4.6 - Vizualizace spotřeb elektrické energie (vlastní autor)

Třetí okno vizualizace (obr. 4.7) nabízí pohled na osvětlovací soustavu a stav jednotlivých svítidel. U každého svítidla se může zobrazit jedna ze tří ikon. Levá ikona značí, že svítidlo svítí, prostřední ikona značí, že nesvítí a pravá ikona informuje o poruše svítidla. Po kliknutí na svítidlo se u něj zobrazí jeho adresa, výkon na který svítidlo svítí a pokud je v poruše, vypíše se kód poruchy.

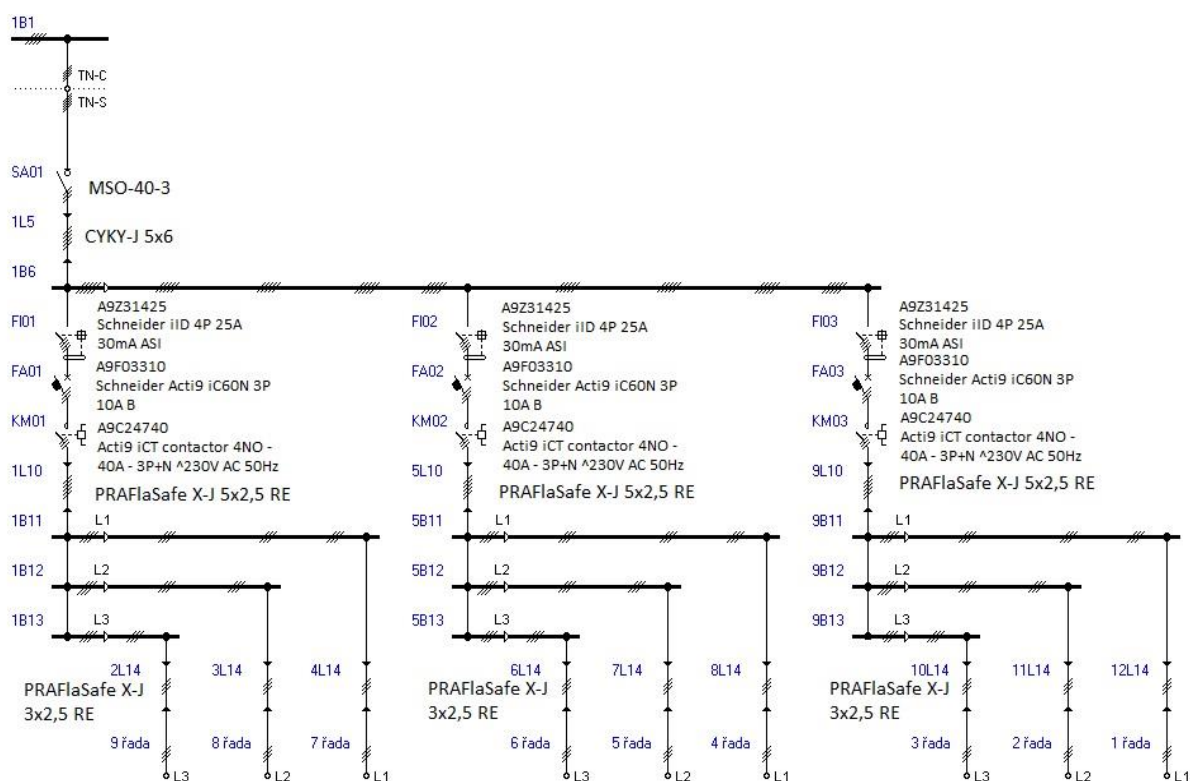


Obr. 4.7 - Vizualizace stavu svítidel (vlastní autor)

### 4.3 TOPOLOGIE NAPÁJENÍ

Na obr. 4.8 je zobrazeno principiální schéma napájení osvětlovací soustavy. Osvětlovací soustava bude napájena z rozvaděče DT1 umístěného ve velínu. Z rozvaděče budou vyvedeny tři 3F vývody, kde každý z vývodů bude zapojen přes proudový chránič Schneider Acti 9 iID - 4P - 25A - 30mA - typ S ASI s vybavovacím proudem 30 mA a jističem Schneider Acti9 iC60N A9F03310 3P 10A s charakteristikou B a zkratovou odolností 10 kA. Kabelová trasa od velínu ke svítidlům povede v kabelovém žlabu MERKUR 250 x 50 mm o délce 67 m. Ke kabelovému žlabu budou u každé trojice řad svítidel přimontovány instalační krabice KOPOS KSK 100 PO IP66 s požární odolností a z těchto krabic povedou k jednotlivým řadům svítidel kabely PRAFlaSafe X-J 3x2,5 RE. Spolu s těmito kabely povede z rozvaděče DT1 k svítidlům 2x kabel CHKE-R (O) 2x1,5 pro DALI. Detailní půdorys s umístěním svítidel, kabelového žlabu, kabelů a rozvaděčů je v příloze B-3.

Důvodem pro použití proudového chránič je vedení kabeláže na dřevěném stropu stadionu a zvýšenou vlhkostí v prostoru. Pro zabránění nechtěného vybavování proudového chránič, je typu SI (Super Imunní) a obsahuje filtry harmonických, proto je využitelný v obvodech s výskytem stejnosměrné složky o vyšších frekvencích (Schneider Electric CZ, s. r. o., 2017).



Obr. 4.8 - Principiální schéma napájení osvětlovací soustavy (vlastní autor)

Vzhledem k velkým nárazovým proudům (až 250násobek  $I_n$ ) při zapínání LED svítidel jsem pro spínání vývodů použil hybridní stykač Schneider A9C24740 Acti9 iCT contactor 4NO, 40A, 3P+N 230V AC 50Hz. Tento hybridní stykač spíná zátěž při úhlu napětí  $0^\circ$ , čímž zamezí nechtěnému vybavení jističů (Schneider Electric CZ, s. r. o., 2017).



## 4.4 SCHÉMA ZAPOJENÍ ROZVADĚČE

Návrh schéma zapojení rozvaděče DT1 a jejich uspořádání v rozvaděči jsem vypracoval v programu PCSCHMATIC verze 18 od české firmy CADware. Schéma zapojení rozvaděče s uspořádáním prvků je součástí přílohy číslo B-5. Navržen je oceloplechový rozvaděč RITTAL AE 1037.500 s rozměry 800 x 400 x 300 mm. Vývod a přívod je řešen vrchem rozvaděče. V čelní straně rozvaděče bude pomocí markPLC kitu umístěn regulátor MARK 320.

## 4.5 MĚŘENÍ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE

K měření spotřeby elektrické energie nově navrženého osvětlení bude použit 3F přímý elektroměr PRO380-MOD 0,25-100 A ModBus MID, který je úředně ověřený s třídou přesnosti 1. DDC regulátor MARK 320 bude komunikovat pomocí protokolu Modbus s elektroměrem a zajišťovat pravidelný sběr dat o spotřebě elektrické energie. Tyto data bude ukládat do SQL databáze a dále zpracovávat a vizualizovat na webovském portálu, kam budou mít přístup pouze pověřené osoby.



Obr. 4.9 - Elektroměr PRO380-MOD (ELEKTROMĚR PRO380-MOD 0,25-100A MODBUS MID)

## 5 ENERGETICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU

V této kapitole se budu věnovat energetickému a ekonomickému zhodnocení projektu. Porovnám stávající stav s nově navrženým, vyhodnotím velikost úspor, kterých by nová osvětlovací soustava mohla dosáhnout.

### 5.1 ENERGETICKÁ A EKONOMICKÁ BILANCE STÁVAJÍCÍ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Současnou neregulovanou osvětlovací soustavu tvoří 68 ks metal - halogenidových výbojek s předřadníkem o celkovém výkonu svítidla 476 W. Osvětlovací soustava se provozuje ve dvou režimech, kdy na režim liga svítí všech 68 ks svítidel a na běžné svícení svítí 31 ks svítidel. Celkové příkony soustav pro oba režimy se určí dle rovnic (5.1) a (5.2)

$$P_{C-liga} = P \cdot n = 476 \cdot 68 = 32\,368\,W, \quad (5.1)$$

$$P_{C-běžné} = P \cdot n = 476 \cdot 31 = 14\,756\,W, \quad (5.2)$$

kde  $P_C$  – celkový příkon osvětlovací soustavy, W,  
 $P$  – příkon svítidla, W,  
 $n$  – počet svítidel, -.

Na běžné svícení se osvětlovací soustava provozuje přibližně 3045 h ročně a svítí 31 ks svítidel. Celková roční spotřeba elektrické energie ke svícení na běžný režim činí dle rovnice (5.3)

$$E_{C-běžné} = P_{C-běžné} \cdot t = 14\,756 \cdot 3045 = 44\,932,02\,kWh, \quad (5.3)$$

kde  $E_C$  – množství spotřebované elektrické energie, kWh / rok,  
 $P_C$  – celkový příkon osvětlovací soustavy, W,  
 $t$  – doba provozu osvětlovací soustavy za rok, h.

Na ligové svícení se osvětlovací soustava provozuje přibližně 600 h ročně a svítí všech 68 ks svítidel. Celková roční spotřeba elektrické energie ke svícení na ligové zápasy činí dle rovnice (5.4)

$$E_{C-liga} = P_{C-liga} \cdot t = 32\,368 \cdot 600 = 19\,420,8\,kWh. \quad (5.4)$$

Cena elektrické energie v roce 2019 je přibližně 2,7 Kč / kWh. Celková suma za roční spotřebu elektrické energie odpovídá dle rovnice (5.5)

$$C = (E_{C-liga} + E_{C-běžné}) \cdot A_e = (44\,932,02 + 19\,420,8) \cdot 2,7 = 173\,753\,Kč/rok, \quad (5.5)$$

kde  $C$  – cena elektrické energie za rok, Kč / rok,  
 $E_C$  – množství spotřebované elektrické energie, kWh / rok,  
 $A_e$  – cena energie, Kč / kWh.



## 5.2 ENERGETICKÁ A EKONOMICKÁ BILANCE NOVĚ NAVRŽENÉ OSVĚTLOVACÍ SOUSTAVY

Nově navrženou regulovanou osvětlovací soustavu tvoří 60 ks LED svítidel TOLEDA 3G s předřadníkem DALI o celkovém výkonu svítidla 168 W. Osvětlovací soustava se pro porovnání provozuje ve dvou režimech, kdy na režim liga svítí všech 60 ks svítidel na 63 % příkonu a na běžné svícení svítí 60 ks svítidel na 38 % příkonu. Celkové příkony soustav pro oba režimy se určí dle rovnic (5.6) a (5.7)

$$P_{C-liga} = P \cdot 0,63 \cdot n = 168 \cdot 0,63 \cdot 60 = 6\,350,4 \text{ W}, \quad (5.6)$$

$$P_{C-běžné} = P \cdot 0,38 \cdot n = 168 \cdot 0,38 \cdot 31 = 3\,830,4 \text{ W}, \quad (5.7)$$

kde  $P_C$  – celkový příkon osvětlovací soustavy, W,  
 $P$  – příkon svítidla, W,  
 $n$  – počet svítidel, -.

Na běžné svícení se osvětlovací soustava provozuje přibližně 3045 h ročně a svítí 31 ks svítidel. Celková roční spotřeba elektrické energie ke svícení na běžný režim činí dle rovnice (5.8)

$$E_{C-běžné} = P_{C-běžné} \cdot t = 3830,4 \cdot 3045 = 11\,663,568 \text{ kWh}, \quad (5.8)$$

kde  $E_C$  – množství spotřebované elektrické energie, kWh / rok,  
 $P_C$  – celkový příkon osvětlovací soustavy, W,  
 $t$  – doba provozu osvětlovací soustavy za rok, h.

Na ligové svícení se osvětlovací soustava provozuje přibližně 600 h ročně a svítí všech 68 ks svítidel. Celková roční spotřeba elektrické energie ke svícení na ligové zápasy činí dle rovnice (5.9):

$$E_{C-liga} = P_{C-liga} \cdot t = 6350,4 \cdot 600 = 3\,810,24 \text{ kWh}. \quad (5.9)$$

Cena elektrické energie v roce 2019 je přibližně 2,7 Kč / kWh. Celková suma za roční spotřebu elektrické energie odpovídá dle rovnice (5.10)

$$C = (E_{C-liga} + E_{C-běžné}) \cdot A_e = (3810,24 + 11663,568) \cdot 2,7 = 41\,779 \text{ Kč / rok}, \quad (5.10)$$

kde  $C$  – cena elektrické energie za rok, Kč / rok,  
 $E_C$  – množství spotřebované elektrické energie, kWh / rok,  
 $A_e$  – cena energie, Kč / kWh.

## 5.3 SROVNÁNÍ SOUČASNÉ A NOVĚ NAVRŽENÉ SOUSTAVY

V tabulce 5.1 jsou srovnány energetické a ekonomické parametry osvětlovací soustavy. V první části tabulky je vypočtena stávající spotřeba elektrické energie celé soustavy, která činí 47,124 kWh a spotřeba elektrické energie za rok, která činí 64 353 kWh.

V druhé části tabulky je vypočtena předpokládaná roční spotřeba elektrické energie nově navržené soustavy. Spotřeba soustavy dle výpočtu činí 10,181 kWh, což je o 36,943 kWh méně. V celoroční spotřebě elektrické energie vychází navrhované LED osvětlení o 48 879 kWh nižší než stávající halogenové.

Ve sloupcích „Úspora“ je vypočtena předpokládaná úspora elektrické energie a financí při navržené výměně stávajících halogenidových výbojek za nová LED svítidla s regulací. Roční úspora

elektrické energie činí 48 879 kWh, což je při stávající kalkulované ceně elektrické energie 2,7 Kč / kWh činí celkem 131 973 Kč ročně.

Tabulka 5.1 - Srovnání ekonomické a energetické bilance stávající a navržené osvětlovací soustavy (vlastní)

cena el. energie	2,7 Kč/kWh								
Stávající stav									
Zimní stadion	Typ svítidla	příkon	předřadník	počet svítidel	spotřeba el. energie celkem	provozní hodiny	spotřeba el. energie za rok		
		W	W	ks	kWh	hod.	KWh/rok		
Svícení na běžný provoz	Halogenové svítidlo	400	76	31	14,76	3045	44 932		
Svícení na ligové zapasy	Halogenové svítidlo	400	76	68	32,37	600	19 421		
Celkem					47,124		64 353		
Navrhovaný stav								Úspora	
Zimní stadion	Typ svítidla	příkon	počet svítidel	spotřeba el. energie celkem	provozní hodiny	spotřeba el. energie za rok	úspora el. energie za rok	úspora Kč za rok	
		W	ks	kWh	hod.	kWh/rok	kWh/rok	Kč / rok	
Svícení na běžný provoz	TOLEDA LED 3G	168	60	3,83	3045	11 664	33 268	89 825	
Svícení na ligové zapasy	TOLEDA LED 3G	168	60	6,35	600	3 810	15 611	42 149	
Celkem				10,181		15 474	48 879	131 973	

Tabulka 5.2 - Výpis materiálu pro výměnu stávajícího osvětlení (vlastní)

V tabulce 5.2 je sepsán výpis materiálu pro výměnu osvětlení. Nákladová cena na výměnu stávajícího osvětlení za regulované LED osvětlení činí 766 419 Kč. Návratnost investice byla vypočtena dle vzorce (5.11)

$$TN_p = \frac{IN}{CF} = \frac{766\,419}{131\,973} = 5,81 \text{ let} , \quad (5.11)$$

kde  $IN$  – náklady na investici (investiční výdaj),

$CF$  – roční peněžní tok (roční příjem – úspora nákladů v důsledku investice).

Komponenty / materiál	Kč / ks	množství	Kč celkem
Svítidla TOLEDA 3G 168W	8 415,4	60	504 924 Kč
Demontáže	400,0	68	27 200 Kč
Montáže	1 000,0	60	60 000 Kč
DDC MARK 320	13 635,0	1	13 635 Kč
Převodník R091 TCP/DALI	7 599,8	2	15 200 Kč
Rozvaděč DT1 - 800x400x300 vč. výstroje	29 892,9	1	29 893 Kč
Revize	5 000,0	1	5 000 Kč
Kabel CYKY-J 5x6	82,9	18	1 491 Kč
Kabel CHKE-R (O) 2x1,5 pro DALI	35,5	424	15 052 Kč
Kabel PRAFlaSafe X-J 5x2,5 RE	54,6	120	6 552 Kč
Kabel PRAFlaSafe X-J 3x2,5 RE	40,9	354	14 464 Kč
Závitová tyč M10 + šroub+kotva	25,6	57,888	1 483 Kč
Kabelový žlab Merkur 250x50mm	104,0	67	6 968 Kč
Spojka pro drátěny žlab SZM 1	12,2	67	817 Kč
Instalační krabice KOPOS KSK 100 PO IP66	631,0	2	1 262 Kč
Nastřelovací příchytky	10,9	1416	15 477 Kč
Plošina	1 500,0	8	12 000 Kč
Vizualizace + SW	35 000,0	1	35 000 Kč
Nákladová cena [Kč]			<b>766 419 Kč</b>
Návratnost [rok]			3,56

## 6 ZÁVĚR

V první kapitole jsem se seznámil s normativními požadavky na osvětlení sportovišť a důležitými světelně-technickými parametry osvětlovací soustavy. Zjistil sem, které typy osvětlovacích zdrojů se využívají, k jakému účelu a jak lze osvětlovací soustavy řídit či regulovat.

V druhé kapitole jsem změřil stávající hodnotu intenzity oslnění nad kluzištem hokejového stadionu a výsledky interpretoval přes tabulku v excelu. Po vyhodnocení měření jsem zjistil, že soustava nevyhovuje normě ČSN EN 12193 Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť, z hlediska minimální intenzity osvětlení i rovnoměrnosti osvětlení. Při ověření stávající elektroinstalace jsem došel k závěru, že by nebylo časově, ani finančně výhodné využít stávající elektroinstalaci. Protože stávající rozmístění svítidel nekoresponduje s rozmístěním nových svítidel.

Ve třetí kapitole jsem vytvořil nový, světelně-technický, návrh osvětlení pomocí nových LED svítidel se stmívatelnými předřadníky DALI. Návrh osvětlovací soustavy jsem zpracoval ve výpočtovém programu DIALux, který je pro tento typ aplikací. Navrhl jsem soustavu, která se skládá z 60 ks svítidel a projektoval jsem ji na intenzitu osvětlení 794 lx. Osvětlovací soustavu jsem předimenzoval z důvodu zakomponování činitele údržby, který vyšel 0,67. Proto je možné soustavu několik let provozovat na snížený výkon, čímž se život svítidel prodlouží. Prodlužovat život osvětlovací soustavy bude také roční interval údržby pro svítidlo. Pro místnost je tento interval zvolen na 3 roky.

Ve čtvrté kapitole jsem vypracoval projektovou dokumentaci. Pro řízení osvětlovací soustavy jsem použil komponenty od firmy Domat. Pro řízení, vizualizace a webový server jsem použil regulátor MARK 320, který komunikuje skrze převodníky R091 TCP / DALI s předřadníky svítidel, přiřazuje jim adresy, scény a ovládá je. Pro ovládání přes webový server jsem vytvořil v programu Merbon HMI vizualizaci o třech oknech. Do vizualizace je možné doplnit mnoho dalších funkcí, jako je export spotřeb do souboru .csv, nastavení různých alarmů apod. Dále jsem v této kapitole popsal topologii napájení a schéma zapojení. Technická zpráva, protokol o určení vnějších vlivů, půdorysná dispozice svítidel s napájecími a DALI kabely, podrobný světelně – technický výpočet osvětlení, výkres rozmístění prvků v rozvaděči a datový list použitých svítidel je v přílohách diplomové práce.

V páté kapitole jsem se věnoval výpočtu a zhodnocení projektu z hlediska energetiky a ekonomiky. Vyhodnotil jsem stávající osvětlovací soustavu, nově navrženou osvětlovací soustavu, poté jsem je spolu srovnal a na závěr jsem vypočítal návratnost investice.

V diplomové práci jsem vypracoval kompletní projekt návrhu osvětlení a elektroinstalace stávající hokejové haly. Projektová dokumentace obsahuje světelně technický návrh, návrh řízení osvětlovací soustavy, měření a regulaci, obvodová elektrotechnická schémata instalace a výkresy uspořádání prvků v rozvaděči. To znamená, že cíl diplomové práce byl splněn.

## POUŽITÁ LITERATURA

- ČSN EN 12193:2019. *Světlo a osvětlení – Osvětlení sportovišť*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 62262 (ČSN EN 50102). 1997. *Stupně ochrany poskytované kryty elektrických zařízení proti vnějším mechanickým nárazům (IK kód)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 12461-1. 2012. *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN IEC 50 (845). 1996. *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 845: Osvětlení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 60 598-1. 2015. *Svitidla - Část 1: Obecné požadavky a zkoušky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 60529. 1993. *Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- TNI 36 0451. 2006. *Údržba vnitřních osvětlovacích soustav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- Spínání a jistění LED osvětlení. 2017. *Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Jinonice: Schneider Electric CZ, [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/15829-spinani-a-jisteni-led-osvetleni>
- MAIXNER, Tomáš. 2007. *Údržba osvětlovacích soustav - opomíjený zdroj úspor. Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Staré Město: Institut pro rozvoj měst a obcí, [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3891-udrzba-osvetlovacich-soustav-opomijeny-zdroj-uspor>
- HABEL, Jiří. 2013. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3
- SOKÁNSKÝ, Karel a kolektiv. 2007. *Základy základů světelné techniky*. Ostrava. Dostupné také z: [http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/vuee/VUEE\\_Zaklady\\_svetelne\\_techiky.pdf](http://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vuee/VUEE_Zaklady_svetelne_techiky.pdf)
- SOKÁNSKÝ, Karel a kolektiv. 2009. *Úspory energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov*. Ostrava. Dostupné také z: [http://www.csorsostrava.cz/publikace/Uspor\\_y\\_energie\\_v\\_osvetlovani\\_pri\\_hodnoceni\\_energeticke\\_narocnosti\\_budov/Zaverecna\\_zprava.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/Uspor_y_energie_v_osvetlovani_pri_hodnoceni_energeticke_narocnosti_budov/Zaverecna_zprava.pdf)
- SOKÁNSKÝ, Karel a kolektiv. 2004. *Racionalizace v osvětlování kancelářských, školských a bytových prostor*. Ostrava. Dostupné také z: <http://www.csorsostrava.cz/publikace/racionalizace%20-%202004.pdf>
- SOKÁNSKÝ, Karel a kolektiv. 2003. *Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení*. Ostrava. Dostupné také z: [http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni\\_ridici\\_systemy%20-%202003.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/inteligentni_ridici_systemy%20-%202003.pdf)
- HEINZ, R.. 2006. *Grundlage der Lichterzeugung – von der Glühlampe bis zum Laser*. 2. Auflage. Highlight Verlages.mbH, Rüthen.
- KUNC, Josef. 2007. *Výhody systémové instalace ABB i-bus®KNX/EIB při řízení osvětlení*. Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. 2007(10), 32-34. ISSN 1210-0889.

- DDC regulátory mark320, mark220*. 2017. Pardubice. Dostupné také z: [https://domat-int.com/wp-content/uploads/domat\\_mark320\\_mark220\\_cz.pdf](https://domat-int.com/wp-content/uploads/domat_mark320_mark220_cz.pdf)
- Převodník Modbus TCP/DALI*. 2018. Pardubice. Dostupné také z: [https://domat-int.com/wp-content/uploads/domat\\_R091\\_cz.pdf](https://domat-int.com/wp-content/uploads/domat_R091_cz.pdf)
- VIDIM, Jan. 2017. Systémové topologie DALI podle EN 62386 (I). *Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. Pardubice: Domat, [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/15313-systemove-topologie-dali-podle-en-62386-i>
- Luxmetr Testo 545. 2019. *Revizeshop.cz: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.revizeshop.cz/Testo-545-Lux-Meter>
- TOLEDA 3G*. 2018. Praha,. Dostupné také z: *Toleda 3G 8M 35900lm 168W IP54 5000K DALI.pdf*
- ELEKTROMĚR PRO380-MOD 0,25-100A MODBUS MID. *Elektroměry s.r.o.: specializovaný velkoobchod elektroměrů a příslušenství* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: [http://www.elektromery.com/product/elektromery-s-komunikaci-modbus---\\_prub/elektromer-pro380-mod-0\\_25-100a-modbus-m/78](http://www.elektromery.com/product/elektromery-s-komunikaci-modbus---_prub/elektromer-pro380-mod-0_25-100a-modbus-m/78)

## **PŘÍLOHY**

**A - CD**

**B - Desky s projektovou dokumentací**

**Příloha k diplomové práci**  
**NÁVRH OSVĚTLENÍ HOKEJOVÉ HALY**  
Lukáš Hála

**CD**



## **Obsah příloh**

- 1 Technická zpráva
- 2 Protokol o určení vnějších vlivů
- 3 Dispozice rozmístění svítidel
- 4 Světelně technický návrh
- 5 Obvodová elektrotechnická schémata a výkres uspořádání prvků v rozvaděči
- 6 Návrh paprskové sítě ve výpočetním programu Sichr
- 7 Kalkulace návratnosti investice
- 8 Text diplomové práce ve formátu PDF

**Příloha k diplomové práci**  
**NÁVRH OSVĚTLENÍ HOKEJOVÉ HALY**  
Lukáš Hála

**Projektová dokumentace**

## **Obsah příloh**

- 1 Technická zpráva
- 2 Protokol o určení vnějších vlivů
- 3 Dispozice rozmístění svítidel
- 4 Světelně technický návrh
- 5 Obvodová elektrotechnická schémata a výkres uspořádání prvků v rozvaděči